

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

# **Diplomová práce**

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

**Studium přípravy povrchu substrátu na vlastnosti nátěrového  
systému**

Study of the Surface Preparation Substrate on Characteristic  
Coating System

Student:	Bc. Petr Dorazil
Vedoucí diplomové práce:	doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2009

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Dorazil**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: Studium přípravy povrchu substrátu na vlastnosti nátěrového systému  
**Study of the Surface Preparation Substrate on Characteristics Coating System**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti povrchu vybraného substrátu pro aplikaci nátěrového systému.
2. Navrhněte povrchovou úpravu substrátu před aplikací vybraného nátěrového systému.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu 30 - 35 stran.

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

Seznam doporučené odborné literatury:


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 22. 5. 2009 .....

.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon , zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany , uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22.5.2003



Podpis studenta

Nám. Kosmonautů 2

789 85 Mohelnice

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DORAZIL, P. *Studium přípravy povrchu substrátu na vlastnosti nátěrového systému*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 89 s. Diplomová práce, vedoucí Podjuklová, J.

V teoretické části diplomové práce jsou uvedeny základní informace o vlastnostech a přípravě povrchu substrátu před aplikací nátěrového systému (NS) se zaměřením na kokilové odlitky z šedé litiny. Rovněž je diskutována otázka působení korozního prostředí na povrch substrátu a přilnavost NS.

V experimentální části je hodnocena změna drsnosti otryskaného povrchu vlivem korozního napadení v korozních prostředích s různým časovým intervalem a vliv tohoto napadení na přilnavost NS. Zjištěná data jsou statisticky vyhodnocena a je získán trend vývoje změny drsnosti povrchu a přilnavosti NS v závislosti na čase. Na základě výsledků lze vyvozovat, že časová prodleva ve sledovaném období se neprojevila negativně na přilnavost základního NS.

## **ANNOTATION OF THE THESIS**

DORAZIL, P. *Study of the Surface Preparation Substrate on Characteristic Coating System*. Ostrava: Department of mechanical technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, 89 p. Head of the thesis: Podjuklová, J.

In the theoretical part of the diploma work are mentioned basic information of properties and preparation of the substratum surface before the application of paint system (PS) with intent on mold casts from the grey cast iron. There is also discussed the question of the corrosion environs on the surface of substratum and the adhesion PS.

In the experimental part is assessed the change of the roughness of the shot blasted surface by the influence corrosive attack in the corrosion environs with the different time interval and the influence of this attack for the adhesion PS. The found data are statistically evaluated and there is profited the development trend of the roughness change of the surface and adhesion PS on the time dependence. On the basis of issues can be deduced that the time delay was not showed negatively for the adhesion of the basic PS in the monitored period.

# **OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE**

<b>1 Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>2 Povrch a jeho vlastnosti.....</b>	<b>14</b>
2.1 Ideální povrch krystalu.....	14
2.2 Mikrogeometrie povrchu.....	16
2.2.1 Drsnost povrchu.....	18
2.2.2 Hodnocení drsnosti povrchu.....	19
2.3 Povrch odlitků.....	20
2.3.1 Zvláštnosti litého a otryskaného povrchu odlitků.....	20
2.3.2 Povrch odlitků litých do kokil.....	22
2.4 Šedá litina jako podkladový materiál.....	23
2.4.1 Vliv tepelného zpracování na povrch odlitků.....	24
2.5 Koroze povrchu materiálů.....	24
2.5.1 Soustava kov – plyn.....	25
2.5.2 Soustava kov – elektrolyt.....	28
2.5.3 Atmosférická koroze ocelí a litin.....	29
<b>3 Příprava povrchu substrátu před aplikací nátěru.....</b>	<b>32</b>
3.1 Mechanické úpravy povrchu.....	32
3.1.1 Kartáčování, broušení, leštění, omílání.....	32
3.1.2 Otryskávání.....	33
3.2 Chemické úpravy povrchu.....	34
<b>4 Organické povlaky.....</b>	<b>36</b>
4.1 Nátěrové hmoty.....	36
4.2 Přilnavost nátěrového systému.....	37
4.2.1 Vliv techniky nanášení základního nátěru na přilnavost.....	38
<b>5 Návrh metodiky experimentálních prací.....</b>	<b>40</b>
<b>6 Experimentální zkoušky.....</b>	<b>41</b>
6.1 Stanovení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501.....	41
6.2 Stanovení stupně korozní agresivity prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2....	42
6.3 Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287.....	42



6.4	Stanovení viskozity nátěrové hmoty dle ČSN EN ISO 2431.....	43
6.5	Měření tloušťky nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808.....	44
6.5.1	Měření tloušťky mokré vrstvy.....	44
6.5.2	Měření tloušťky suché vrstvy.....	45
6.6	Odtřhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624.....	46
6.7	Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 2409.....	48
<b>7</b>	<b>Vyhodnocení experimentálních zkoušek.....</b>	<b>50</b>
7.1	Vyhodnocení vlivu působení korozního prostředí na změnu drsnosti otryskaného podkladu.....	50
7.1.1	Charakteristika vzorků.....	50
7.1.2	Charakteristika korozních prostředí.....	53
7.1.3	Systém značení vzorků.....	58
7.1.4	Vyhodnocení vývoje drsnosti v korozních prostředích.....	58
7.1.5	Závěr.....	66
7.2	Vyhodnocení vlivu působení korozního prostředí na přilnavost nátěru.....	67
7.2.1	Pracovní postup přípravy vzorků.....	67
7.2.2	Použitý nátěrový systém a jeho aplikace.....	67
7.2.3	Tloušťka nátěrového systému.....	69
7.2.4	Odtřhová zkouška přilnavosti.....	70
7.2.5	Mřížková zkouška přilnavosti.....	73
7.2.6	Závěr.....	74
7.3	Vyhodnocení různého stupně přípravy litinového povrchu na přilnavost nátěrového systému.....	75
7.3.1	Pracovní postup přípravy vzorků.....	75
7.3.2	Měření drsnosti povrchu.....	80
7.3.3	Použitý nátěrový systém a jeho aplikace.....	80
7.3.4	Měření tloušťky nátěrového systému.....	80
7.3.5	Odtřhová zkouška přilnavosti.....	81
7.3.6	Mřížková zkouška přilnavosti.....	82
7.3.7	Závěr.....	84
<b>8</b>	<b>Celkový závěr.....</b>	<b>85</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>89</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Kohezní lom v podkladu	[%]
A/B	Adhezní lom mezi podkladem a základním nátěrem	[%]
AK	Atmosférická koroze	—
Al	Hliník	—
B	Kohezní lom v základním nátěru	[%]
B/Y	Adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem	[%]
C	Uhlík	—
CH <sub>4</sub>	Methan	—
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý	—
Cr	Chrom	—
Cu	Měď	—
C1÷C5	Stupně korozní agresivity prostředí	—
F	Odtřhová síla	[N]
Fe	Železo	—
Fe <sub>3</sub> C	Karbid železa	—
FeO	Kysličník železnatý (wüstit)	—
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Kysličník železnatoželezitý (magnetit)	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Kysličník železitý (hematit)	—
FeSi75	Ferosilicium – slitina železa a 75 % křemíku	—
H	Vodík	—
HB	Tvrdost podle Brinella	—
HV	Tvrdost podle Vickerse	—
H <sub>2</sub> O	Voda	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kyselina sírová	—
Im1÷Im3	Stupně korozní agresivity vody a půdy	—
Kp	Kotvící profil	[μm]
Mn	Mangan	—
Mo	Molybden	—
NS	Nátěrový systém - základní, vodou ředitelná jednosložková barva	—
Ni	Nikl	—
O <sub>2</sub>	Kyslík	—
OH	Hydroxylový radiál	—
P	Povlak	—

P	Fosfor	–
R	Hodnota spolehlivosti	–
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
Rp	Smluvní mez kluzu	[MPa]
Rp	Nejvyšší výška výstupku profilu	[μm]
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu	[μm]
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rz	Nejvyšší výška profilu	[μm]
S	Síra	–
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý	–
S 330	Ocelový granulát	–
Sa	Normalizovaný stupeň čistoty povrchu – otryskávání	–
Si	Křemík	–
St	Normalizovaný stupeň čistoty povrchu – ruční nebo mechanické čištění	–
VOC	Organická těkavá látka	–
Vp	Povrchový objem	[mm <sup>3</sup> ]
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem	[%]
-/Y	Kohezní lom v lepidle	[%]
Z	Základní materiál	–
Zp	Výška největšího výstupku profilu	[μm]
Zv	Hloubka největší prohlubně profilu	[μm]
Z(x)	Aritmetický průměr absolutních hodnot profilu	[μm]
d	Průměr zkušebního válečku	[mm]
lr	Základní délka profilu	[μm]
s	Tloušťka povlaku	[mm]
λc	Filtr profilu definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti	[mm]
λf	Filtr profilu definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu	[mm]
λs	Filtr profilu definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu	[mm]
σ	Napětí v tahu	[MPa]

## 1 ÚVOD

Nejrozsáhlejším způsobem ochrany kovových materiálů proti atmosférickým vlivům jsou organické povlaky – nátěry. Jejich široké použití je dáno poměrně vysokým ochranným účinkem, snadnou aplikací a ekonomickou výhodností. Velmi důležitá je pro dobrou přilnavost nátěru k podkladovému materiálu čistota podkladu, která je dána technologií opracování povrchu.

Vhodnou přípravou povrchu podkladového materiálu, zajistíme dostatečnou přilnavost nátěrového systému, stejnoměrný vzhled výsledné úpravy i její dobrou odolnost proti korozi. Úprava povrchu je obvykle dvoustupňová a rozděluje se na dvě základní skupiny pracovních operací:

- mechanické úpravy povrchu
- chemické úpravy povrchu

Takto se postupně plní dva základní požadavky na předběžné úpravy kovů:

- příprava určité požadované mikrostruktury resp. mikrogeometrie a kvality povrchu
- zajištění požadované čistoty povrchu

Technologie přípravy povrchu substrátu před aplikací ochranného nátěru má vliv na geometrii čistého kovového povrchu, tj. na drsnost a kotvící profil. Takto předupravený povrch v kontaktu s okolním korozním prostředím intenzivněji reaguje za vzniku chemických sloučenin, které v závislosti na čase mění hodnotu drsnosti a kotvícího profilu. Tato změna může vést ke zhoršení adhezních vlastností nátěrového systému.

Hlavním tématem předložené diplomové práce je vyhodnocení vlivu časové prodlevy otryskaného povrchu substrátu na změnu hodnot drsnosti a následně na přilnavost základního vodouředitelného nátěrového systému. Studium přípravy povrchu substrátu je zaměřeno na povrchové úpravy odlitků z šedé litiny lité do kokil ve firmě Siemens Elektromotory, s.r.o., Mohelnice. Změny hodnot drsnosti povrchu jsou sledovány v klimatických podmínkách, které mohou působit v závislosti na čase na povrch již otryskaných odlitků při mezioperačním skladování, tj. před aplikací

základního nátěrového systému. Současně je v diplomové práci studován vliv různého stupně přípravy litinového povrchu na přilnavost základního nátěrového systému. Výsledky studia této diplomové práce budou přínosem k zajištění kvalitní přilnavosti základních vodouředitelných nátěrových systémů aplikovaných ve slévárenských provozech zabývajících se velkosériovou výrobou odlitků z šedé litiny a to zejména kokilových odlitků – litých do kovových forem.

## 2 POVRCH A JEHO VLASTNOSTI

Vlastnosti povrchu kovů můžeme posuzovat tehdy, jestliže nám jsou známy nejdříve zákonitosti „ideálního“ povrchu fyzikálně čistého kovu bez interakcí s jiným prostředím a rozdíly, jimiž se uspořádání liší od objemu uvnitř kovu. Poté si lze udělat představu, jak charakterizovat „skutečný“ povrch, s nímž se běžně setkáváme.

V mnohých případech je skutečný povrch prostředníkem působení vnějších podmínek a je tedy nutno zabývat se i vlastnostmi nebo změnami materiálu pod povrchem. Tento objem nazýváme povrchovou vrstvou, na rozdíl od povlaku, který vzniká nebo se vytváří na povrchu kovu. [1]

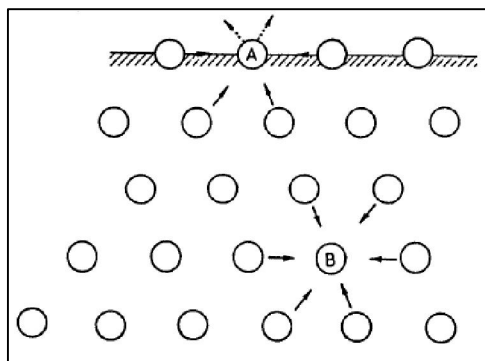
### 2.1 Ideální povrch krystalu

Představme si povrch, který vznikne oddělením části krystalu, aniž tím porušíme geometrické uspořádání krystalické mřížky. Tímto však nutně porušíme rovnováhu sil působících na atom umístěný uprostřed velmi velkého krystalu. Takový atom má určitý počet sousedů u kterého je rovnováha krystalického prostředí definována symetrií přitažlivých a odpudivých sil, které působí mezi uvažovaným atomem a jeho sousedy. Nachází-li se takový atom na povrchu krystalu, je pak obklopený menším počtem sousedních atomů. Dle krystalografické orientace řezů určíme počet těchto atomů. [1]

Charakteristickou vlastností každého povrchu pevné fáze je skoková změna symetrie sil působící na atomová jádra krystalové mříže. Zatímco uvnitř objemu jsou tyto síly v různých směrech navzájem vykompenzovány, povrchová vrstva je v tomto smyslu nenasycená (Obr. 1). [9] Tato okolnost má tyto důsledky:

- Relaxace povrchu – možná odlišná vzdálenost povrchové vrstvy od zbytku krystalu, než je vzdálenost ekvivalentních rovin s povrchem uvnitř objemu
- Rekonstrukce povrchu – možné uspořádání atomů v rovině povrchu odlišné od struktury ekvivalentní roviny uvnitř krystalu

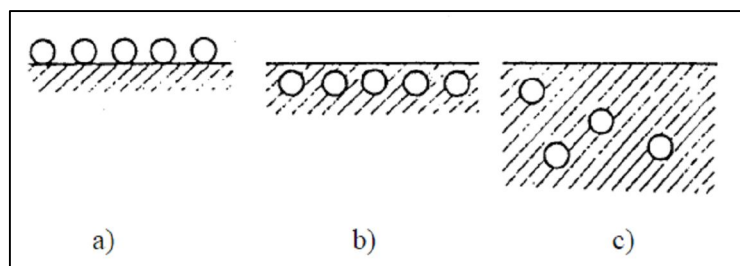
- Povrchová vrstva nemusí být rovinná – možnost vytvoření soustavy nových stabilnějších mikroplošek
- Neúplné nasycení povrchových vazeb – má za následek silové pole vedoucí k hromadění molekul plynu v blízkosti povrchu, tj. k *adsorpci*



**Obr. 1** – Síly působící na atom v povrchu (A) a uvnitř krystalu (B) [9]

Při interakci plynů s povrchy pevných látek můžeme pozorovat jevy jako (Obr. 2) :

- Chemisorpce – molekuly adsorbátu vázány k povrchu adsorbentu chemicky
- Fyzikální adsorpce – uplatnění sil podobných silám při kondenzaci plynů (van der Waalsovy síly)
- Inkorporace – pronikání částic do povrchové vrstvy
- Absorpce (rozpuštění) – pronikání částic do větších hloubek



**Obr. 2** – Umístění částic při sorpci na rozhraní pevné a plynné fáze  
a – chemisorpce, b – inkorporace, c – absorpce [9]

Teorie adsorpce na heterogenním (reálném) povrchu je fenomenologická. Předpokládá buď soubor homogenních oblastí nezávislých na sobě nebo náhodné rozdělení adsorpčních míst o různé adsorpční aktivitě. Polykrystalický materiál je vždy heterogenní. Ve styku s atmosférou se rychle pokrývá adsorbovanými vrstvami molekul

atomů s různou tloušťkou, hustotou a složením. Adsorpce je dále komplikována přítomností nečistot v základním materiálu. [1]

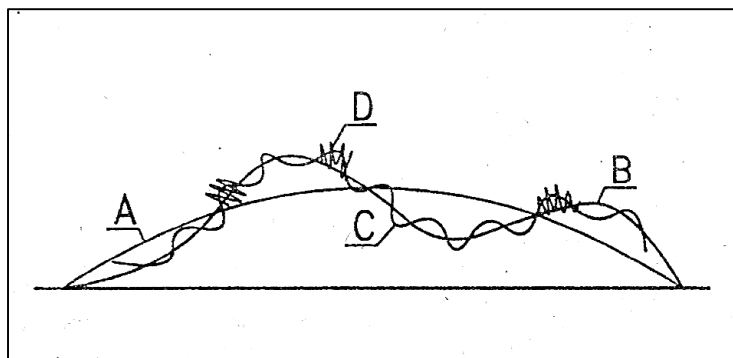
U slitin se povrchy mohou lišit jak strukturou, tak i chemickým složením od objemu. K segregaci různých složek slitin může docházet i vlivem povrchových chemických interakcí při rozdílné aktivitě složek k adsorbátu i při čištění povrchu nebo tepelném zpracování. [1]

## 2.2 Mikrogeometrie povrchu

Odchytky od ideální rovinnosti můžou vznikat při přípravě povrchu, výrobě součástí nebo také jako důsledek změn vyvolaných vnějšími silami nebo prostředím.

Rozlišujeme čtyři druhy nerovností (Obr. 3) :

- mimořádné nerovnosti (makronerovnosti) – trhliny, náhodné nerovnosti odlitků a výkovků, nepravidelné rýhy (A)
- vlnitost povrchu – je periodicky opakující se nerovnost, vznikající hlavně při obrábění chvěním stroje, nástroje a obrábění součásti (B)
- drsnost povrchu (mikronerovnost) – pravidelně se opakuje, je podmíněna technologickým pochodem (C)
- submikronerovnosti – které se ještě superponují na drsnost povrchu a jsou dány snahou dosáhnout nejstabilnějšího stavu krystalického povrchu (D)



Obr. 3 – Schéma nerovností různého druhu [1]



**Struktura povrchu** se člení na jednotlivé parametry podle rozteče příslušných nerovností. V normě ČSN EN ISO 4287 jsou definovány tyto parametry: [2]

- **R** – drsnost povrchu (nejmenší rozteč)
- **W** – vlnitost povrchu
- **P** – základní profil (největší rozteč)

Posuzování struktury povrchu se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. V rovině řezu je získán profil, který je základním zdrojem informace pro posouzení struktury povrchu. Dosud se k hodnocení struktury povrchu používá zjednodušené normalizované metody (profilové metody) vycházející z profilu nerovnosti vzniklého v rovině řezu (2D).

Profil povrchu – průsečnice skutečného povrchu a dané roviny

Základní profil (*P profil*) – vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny

Profil drsnosti (*R profil*) – odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$

Profil vlnitosti (*W profil*) – odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru  $\lambda_c$  na základní profil

Snímaný profil – geometrické místo středů hrotu stanovených parametrů, odvozují se od něj ostatní profily [3]

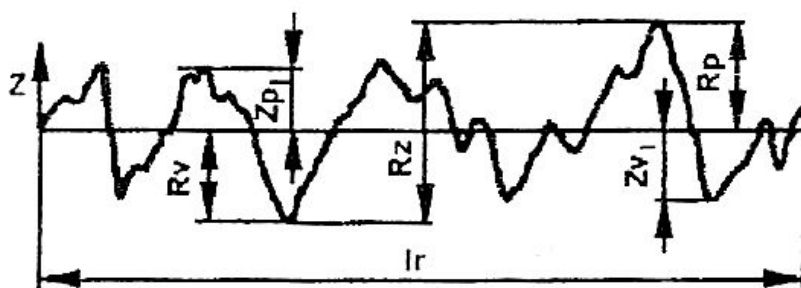
**Filtrace** slouží k odstraňování nežádoucích složek profilu. Hodnota, která odděluje dlouhovlnné složky od krátkovlnných se nazývá mezní vlnová délka profilu (cutt-off). [3] Rozeznáváme tyto filtry profilu:

- $\lambda_s$  filtr – definuje rozhraní mezi drsností a krátkovlnnými složkami
- $\lambda_c$  filtr – určuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- $\lambda_f$  filtr – určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami přítomnými na povrchu

### 2.2.1 Drsnost povrchu

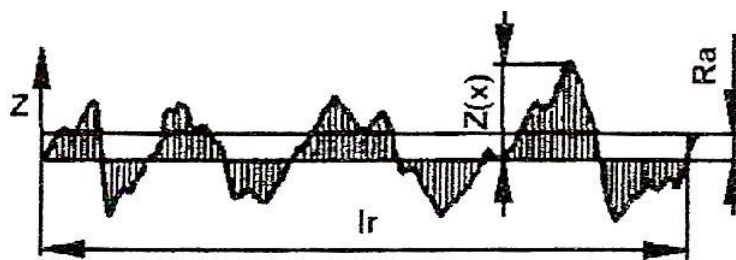
Drsnost povrchu je souhrn jednotlivých nerovností skutečného povrchu, tj. výstupků a prohlubní, jejichž výška je menší než mezní výška nerovností v délce měřeného úseku. Drsnost povrchu charakterizují jednotlivé parametry v mikrometrech: [3]

- $R_p$  – nejvyšší výška výstupku profilu – výška  $Z_p$  největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ , (Obr. 4)
- $R_v$  – největší hloubka prohlubně profilu – hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky  $l_r$ , (Obr. 4)
- $R_z$  – největší výška profilu – součet výšky  $Z_p$  největšího výstupku a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky  $l_r$ , (Obr. 4)



Obr. 4 – Parametry drsnosti  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$  [3]

- $R_a$  – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ , (Obr. 5). Vypovídací schopnost je nízká, protože parametr  $R_a$  nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu. [3]

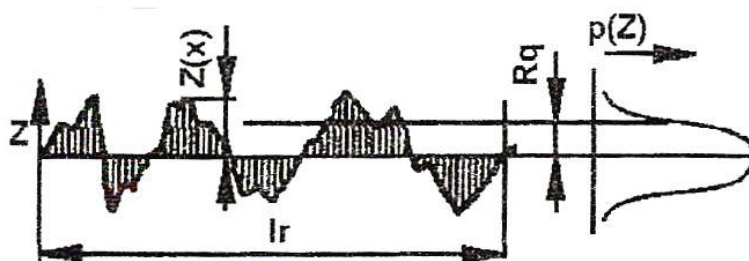


Obr. 5 – Parametr drsnosti  $R_a$  [3]

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x) dx \quad (1)$$

- $Rq$  – průměrná kvadratická úchylka profilu – střední kvadratická hodnota  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $lr$ , (Obr. 6). Parametr  $Rq$  má význam při statistickém pozorování profilu povrchu. [3]

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^2(x) dx} \quad (2)$$



Obr. 6 – Parametr drsnosti  $Rq$  [3]

### 2.2.2 Hodnocení drsnosti povrchu

Vlastní parametry drsnosti povrchu zjišťujeme různými měřicími metodami a přístroji. Veškeré způsoby rozdělujeme dvěma způsoby:

- a) *Kvantitativní hodnocení drsnosti povrchu* – grafickým záznamem nebo přímo měřicím zařízením zjišťujeme jednotlivé parametry drsnosti.
- b) *Kvalitativní hodnocení drsnosti povrchu* – povrch hodnocený srovnáním s etalony nebo nepřímým provedením otisku povrchu s následným hodnocením otisku povrchu ve srovnání s etalony.

## 2.3 Povrch odlitků

Povrch odlitku je plocha, která omezuje tvar tělesa a odděluje je od okolního prostředí. Při hodnocení jakosti povrchu odlitků z různých slitin si můžeme všimnout toho, že stejné druhy odlitků odlévaných do stejných pískových nebo i kovových forem mají různou povrchovou drsnost. Uplatňují se zde v tomto případě specifické vlastnosti jednotlivých slitin, jejich lící teplota, povrchové jevy, vzájemné působení mezi kovem a povrchem formy, tepelná vodivost formy apod. [4]

Veškeré odlitky mají na svém povrchu lící kůru, která je tvořena jemnými krystaly kovu, orientovanými kolmo k povrchu odlitku. Tato vrstva vykazuje některé zvláštní vlastnosti. Zejména u šedé litiny je tvrdší než základní materiál. Lící kůra má také velký vliv na odolnost proti korozi v ovzduší a v chemických činidlech, skládající se z kyslíčnicků a křemičitanů železa. V některých případech může zvyšovat odolnost litiny proti korozi o 30 % až 40 %. Lící kůra působí příznivě jen tehdy, je-li celistvá. Dojde-li k porušení celistvosti, může naopak podporovat korozi tak, že tvoří články s obnaženým kovem. [5]

### 2.3.1 Zvláštnosti litého a otryskaného povrchu odlitků

Porovnáním charakteru povrchu litého a otryskaného různým způsobem zjistíme rozdíly v drsnosti, vlnitosti a rovnosti ploch (Tabulka 1).

**Tabulka 1** – Různé profily povrchu odlitku [4]

Druh povrchu odlitku	Profil povrchu odlitku
Z pískové formy	
Z kokily	
Otryskaný granulátem	
Otryskaný drtí	

U otryskaných odlitků se prohlubně směrem k povrchu rozšiřují. U litých ploch můžeme pozorovat prohlubně, které se naopak směrem k povrchu zužují. Tento případ je možný u povrchu vzniklým litím do pískové formy, kdy pískové zrno je oblito tekutým kovem a vlivem vysoké teploty rozpraská a uvolní se. Další případ může nastat při povrchovém naplynění materiálu. [4]

Povrch otryskaný jakýmkoli otryskávacím prostředkem je možné hodnotit jako přechodný stav mezi litým povrchem a povrchem obrobeným. Otryskaný povrch má podstatně menší rozdíly v mikronerovnostech i makronerovnostech než povrch odlitý. U otryskaného povrchu je hodnota drsností jako u povrchu litého ve všech směrech stejná, na rozdíl od povrchu obrobeného. Rozdílný charakter litého a otryskaného povrchu při stejném parametru drsnosti  $R_a = 6 \mu\text{m}$ , je vidět na Obr. 7 a Obr. 8.



**Obr. 7** – Litý povrch [4]



**Obr. 8** – Otryskaný povrch [4]

U povrchu odlitků se rozlišují dva typy drsnosti:

1. *Drsnost povrchu vzniklá okopírováním povrchu formy kovem* – je rozdílná dle použité technologie, druhu tekutého kovu hmotnosti odlitku, konstrukce, tloušťky stěny a dalších faktorů.
2. *Drsnost povrchu vzniklá nedokonalým vypracováním povrchu formy* – např. nedostatečně zhuštěným formovacím materiálem (písková forma) nebo narušením povrchu formy penetrací tekutého kovu.

Je-li překročena hodnota drsnosti povrchu o jeden etalon, než jak je uvedeno na výkrese, je považována již za *vadu povrchu*. Výrobní technologie, tvar a hmotnost

odlitku potom určují, zda převládají drsnosti typu 1. nebo 2. Na odlitcích se vyskytují oba typy drsností, což znesnadňuje určení průměrné drsnosti celého povrchu odlitku.

### 2.3.2 *Povrch odlitků litých do kokil*

Z hlediska kvality povrchu, přináší odlévání do kokil zlepšený povrch odlitku, který je otiskem povrchu kovové formy. Při styku s roztavenou slitinou je povrch kokily namáhán teplem. Při rozevření kokily a vyjmutí odlitku se naopak povrch rychle ochlazuje. Střídavé tepelné namáhání může vést za určitých podmínek k porušení povrchu kokily, což se zákonitě projeví i na kvalitě povrchu odlitku.

Pro odlitky ze šedé litiny postačí drsnost povrchu kokily v rozmezí  $Ra = 4\text{ }\mu\text{m}$  až  $8\text{ }\mu\text{m}$ . U slitin s vysokou zabíhavostí a malým povrchovým napětím, se z hlediska hladkého povrchu snižuje drsnost povrchu kokily na  $Ra = 2,5\text{ }\mu\text{m}$  až  $5\text{ }\mu\text{m}$ . Ke snížení povrchových trhlin, k prodloužení trvanlivosti kokil a ke snazšímu vyjímání odlitků z kokily slouží různé druhy postřiků a barviv. Vhodnou úpravou povrchu kokily je možné drobnější trhlinky, popř. i jiné povrchové vady zahladit tak, že povrch odlitku je hladký. [4]

Typy ochranných nánosů pro povrch kokily:

- *Pro odlitky ze slitin hliníku* – nátěry obsahující kysličník zinečnatý, vodní sklo, popř. mletá křída, žíhaný mastek a voda
- *Pro odlitky ze slitin mědi* – nátěry složené z oleje, práškového grafitu a parafínu v různých poměrech podle tloušťky odlitku
- *Pro odlitky ze šedé litiny* – použití křemenných prášků, vodního skla a vody nebo grafitu, žárovzdorného jílu, vodního skla a vody
- *Pro odlitky z ocelí* – nátěr složený z křemenné moučky, žárovzdorného jílu, vodního skla a vody
- *Pro drobnější odlitky* – povrch kokily se očazuje acetylenovým plamenem

Při odlévání odlitků do kokil ze šedé litiny o rozdílných tloušťkách stěny je nutné použít žíhání ke zlepšení obrobitelnosti tenkých stěn.

## 2.4 Šedá litina jako podkladový materiál

Šedá litina má ve struktuře lupínkový (lamelární) grafit a kovovou matici obsahující ferit, perlit nebo jejich směs. Obvyklé chemické složení je uvedeno v Tabulce 2.

**Tabulka 2** – Chemické složení litiny s lupínkovým grafitem [5]

Prvek	C	Si	Mn	P	S
Chem. slož. v [%]	2,5 až 3,5	do 3,5	0,4 až 0,8	0,2 až 1,2	0,08 až 0,12

*Mechanické vlastnosti* jsou ovlivněny kromě tvaru, velikosti a množství grafitu, především chemickým složením a rychlostí ochlazování. Tyto dva faktory určují zejména konečnou podobu matrice – podíl feritu a perlitu, popř. ledeburitu. [14]

*Očkování* je technologická operace, při které se do tekutého kovu vnáší malé množství substance – očkovadla a tím zvýší množství krystalizačních zárodků určité fáze. Používají se např. FeSi75 (ferosilicium), SIMANCAL, Zirconic a další. V Tabulce 3 jsou uvedeny mechanické a fyzikální vlastnosti šedých litin.

**Tabulka 3** – Mechanické a fyzikální vlastnosti šedých litin [14]

Vlastnost			Označení litiny dle EN a ČSN				
			EN-GJL-150 (EN-JL 1020) 42 2415	EN-GJL-200 (EN-JL 1030) 42 2420	EN-GJL-250 (EN-JL 1040) 42 2425	EN-GJL-300 (EN-JL 1050) 42 2430	EN-GJL-350 (EN-JL 1060) 42 2435
			Struktura				
			feriticko perlitická	perlitická			
Pevnost v tahu	$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	150 až 250	200 až 300	250 až 350	300 až 400	350 až 450
Smluvní mez kluzu	$R_{p0,1}$	N/mm <sup>2</sup>	98 až 165	130 až 195	165 až 228	195 až 260	228 až 285
Tažnost	A	%	0,8 až 0,3				
Pevnost v tlaku	$\sigma_{dB}$	N/mm <sup>2</sup>	600	720	840	960	1080
Pevnost v ohybu	$\sigma_{dB}$	N/mm <sup>2</sup>	250	290	340	390	490
Pevnost ve střihu	$\sigma_{aB}$	N/mm <sup>2</sup>	170	230	290	345	400
Pevnost v krutu	$T_{tB}$	N/mm <sup>2</sup>					
Max. tvrdost	HB		200	200	240	260	270
Modul pružnosti	E	KN/mm <sup>2</sup>	78 až 103	88 až 113	103 až 118	108 až 137	123 až 143
Poissonův poměr	U		0,26				
Únavová pevnost v ohybu	$\sigma_{bW}$	N/mm <sup>2</sup>	70	90	120	140	145
Mez únavy, tah/tlak	$\sigma_{zdw}$	N/mm <sup>2</sup>	40	50	60	75	85
Lomová houževnatost	$K_{IC}$	N/mm <sup>3/2</sup>	320	400	480	560	650
Hustota	$\zeta$	g/cm <sup>3</sup>	7,1	7,15	7,2	7,25	7,3
Měrné teplo 20°C-200°C 20°C-600°C	c	J/(kg.K)	460 535				
Měrný odpor	$\rho$	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0,8	0,77	0,73	0,7	0,67

### 2.4.1 Vliv tepelného zpracování na povrch odlitku

Tepelné zpracování u litin s lupínkovým grafitem lze rozdělit do dvou skupin a to podle ohřevu:

1. *maximální teplota je nižší než eutektoidní  $A_{1,1} - A_{1,2}$* , patří sem žíhání ke snížení zbytkového pnutí po odlévání, žíhání sferoidizační, žíhání feritizační
2. *maximální teplota je nad teplotou  $A_{1,2}$* , patří sem žíhání ke snížení tvrdosti, žíhání ke zvýšení tvrdosti, povrchové kalení

U běžných druhů šedých litin se může zhoršovat povrch nadměrným okujením při tepelném zpracování. Podle charakteru pecní atmosféry se vytváří na povrchu tenká nebo tlustá vrstva okují. Obvyklá tloušťka vrstvy okují je 0,2 až 0,3 mm. Při nevhodném tepelném zpracování může tloušťka vrstvy okují až několik milimetrů. Má-li odlitek na povrchu zapečený písek, nebo je nadmíru drsný, volí se záměrně i větší tloušťka vrstvy okují, která po rovnoměrném odstranění dává čistší povrch. Je však nutné zvolit takový způsob odokujení, který zaručí dokonalé a rovnoměrné odstranění kysličníků železa z celého povrchu. [4]

Vrstva okují na se skládá ze tří částí. Těsně u odlitku je vrstva FeO – kysličník železnatý (wüstit), střední část tvoří kysličníky FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – kysličník železnatoželezitý (magnetit) a vnější vrstvu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – kysličník železitý (hematit). Je-li vrstva okují tenká, lze ji odstranit otryskáváním, u tlustších vrstev je nutno použít plamene.

## 2.5 Koroze povrchu materiálů

Koroze je samovolně probíhající proces znehodnocování materiálů působením okolního prostředí. Reakce nebo děje, které jsou příčinou korozního poškození materiálu, jsou fyzikálně chemické povahy. Samovolný průběh korozního procesu je způsobován tím, že korozní systém – materiál – prostředí – směřuje do pravděpodobnějšího (nejuspořádanějšího) stavu s menší volnou entalpií. [6]

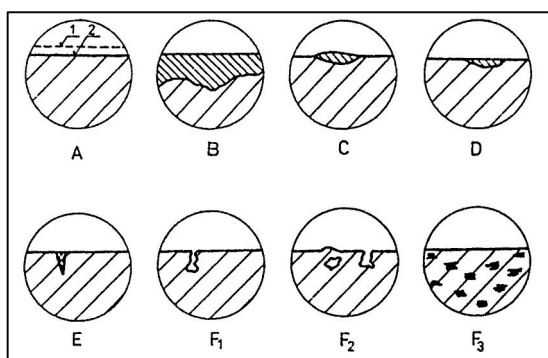
Podle mechanismu to jsou především :

1. Elektrochemické reakce – bývají nejčastější příčinou koroze, ke korozi dochází při styku materiálu s elektricky vodivým prostředím (kapalné roztoky kyselin, zásad a solí, které jsou rozpuštěné ve vodě).

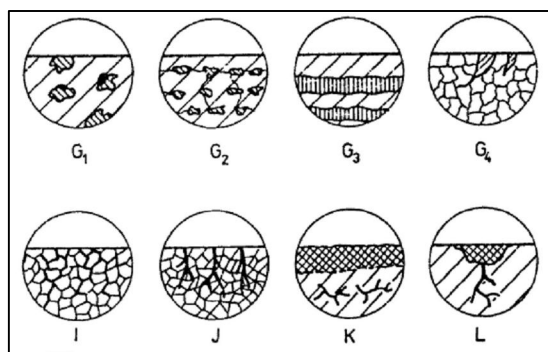


2. Chemické reakce – probíhá v plynech, které mají oxidační či redukční povahu nebo v řadě bezvodých organických tekutin.
3. Fotooxidace vzdušným kyslíkem – je jednou z příčin stárnutí plastů, pryží a nátěrů.

Různé formy korozního napadení závisí na *materiálu* (druh, struktura, vlastnosti, čistota), na *korozním prostředí* a na *podmínkách*, kterým je materiál v korozním prostředí vystaven. Nejběžnější typy jsou zobrazeny na Obr. 9 a Obr. 10. [9]



**Obr. 9** – Druhy korozních napadení, A – rovnoměrné (1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení), B – nerovnoměrné, C – skvrnité, D – důlkové, E – bodové, F – podpovrchové [9]



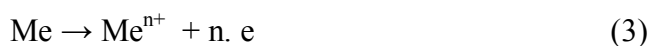
**Obr. 10** – Druhy korozních napadení, G – selektivní, I – mezikrystalové, J – transkrystalové, K – extrakční, L – korozní trhliny [9]

### 2.5.1 Soustava kov – plyn

Na kovovém povrchu se tvoří (narůstá popř. i odpadává) při styku s plynnou oxidační atmosférou film reakčního produktu. Zejména u polykrystalických materiálů s vícefázovou strukturou může docházet k oxidaci i podél hranic zrn nebo na účet méně odolné fáze. [1]

#### a) koroze v oxidujících plynných prostředích

Oxidace je děj při kterém kov (Me) ztrácí valenční elektrony podle obecného vztahu:



Charakteristické je, že se vytváří na povrchu kovu vrstvy iontových a valenčních sloučenin. Průběh oxidačních reakcí bude tedy závislý na vlastnostech této vrstvy a jejího rozhraní s kovem a plynným prostředím. [8]

Kompaktnost a poréznost je základní vlastnost vrstvy určující rychlost oxidace, kde je třeba uvažovat:

1. kinetiku reakcí na fázových rozhraních – po vytvoření vrstvy existují přinejmenším dvě fázová rozhraní: [1]
  - Kov – vrstva
  - Vrstva – atmosféra (neobsahuje-li vrstva větší počet na sebe navrstvených oxidů)
2. difuzi elementárních částic vytvořenou vrstvou

O rychlosti růstu vrstvy rozhoduje nejčastěji nejpomalejší děj – difuze vrstvou, řízená Fickovými zákony. Vrstva je tvořená nekovovou fází. Molekulární objem vrstvy je: [1]

$$v_o = \frac{M_o}{M_k} \frac{v_k \cdot \rho_k}{\rho_o} \quad (4)$$

$M_o$  – molekulová váha vzniklé sloučeniny

$\rho_o$  – měrná hmotnost vzniklé sloučeniny

$M_k$  – molekulová váha reagujícího kovu

$v_k$  – atomový objem kovu

$\rho_k$  – měrná hustota kovu

Boudou-li vytvořené kysličnickové vrstvy chránit kov před dalším okysličováním určuje tzv. Pillingovo – Bedwortovo pravidlo:

- *vrstva kov zcela nepokrývá a nechrání jej zcela před účinky reagujícího plynu, jestliže:*

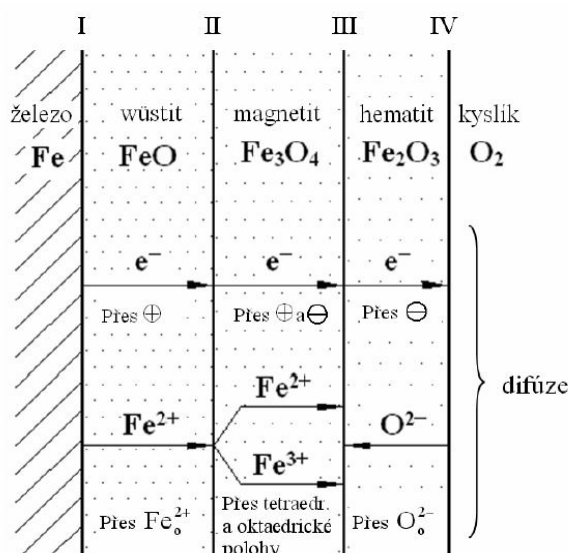
$$\frac{v_o}{v_k} < 1 \quad (5)$$

- *vrstva kov zcela pokrývá a záleží na jejich vlastnostech, do jaké míry je růst vrstvy v závislosti na čase brzděn, jestliže:*

$$\frac{v_o}{v_k} \geq 1 \quad (6)$$

### ***Oxidace železa a ocelí***

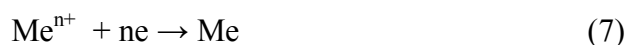
Při oxidaci železa mohou obecně vznikat tři kyslíčnickové vrstvy: (Obr. 11) vnitřní – Leo (wüstit), střední –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit), vnější –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Wüstit má plošně centrovanou kubickou mřížku. Obsahuje kationtové vakance  $\text{Fe}^{2+}$  a volné díry, čímž je umožněna difúze  $\text{Fe}^{2+}$  a elektronů od kovu. Magnetit má spinelovou strukturu, v níž jsou neobsazené oktaedrické a tetraedrické polohy a zároveň volné díry a elektrony. Roste v důsledku difúze kationů železa. Hematit má romboedrickou strukturu a obsahuje vakance  $\text{O}^{2-}$  a elektronové díry. [7]



**Obr. 11** – Difúzní pochody ve vrstvách oxidů během oxidace železa v kyslíku [7]

### **b) koroze v redukujících plynných prostředích**

Redukcí rozumíme děj, při kterém reagující látka získává elektrony, podle obecného schématu: [8]



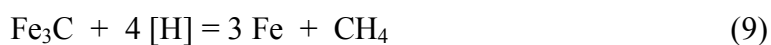
### ***Vodíková křehkost***

Ionizovaný vodík přítomný v železe přijímá exoelektrony vznikající v místech silného přetvárnění a přemění se na vodík atomární. Tento způsobuje snížení tvárnosti

oceli. Atomární vodík má snahu vystoupit z mřížky železa a vytvořit vodík molekulární. Nahromadění takového vodíku v poruchách, pórech, trhlinách, dislokacích, rozhraní zrn a v okolí vměstků má za následek prasknutí a křehnutí oceli. Rozpustnost vodíku v oceli je závislá na chem. složení oceli, tlaku a teplotě. [8]

#### ***Vodíková koroze***

Hlavní příčinou korozního porušení oceli vodíkem je chemická reakce s uhlíkem a v destruktivním vlivem vyplývajících z této reakce, tj. oduhličení a vysoké vnitřní tlaky při tvorbě metanu vznikajícího především rozkladem karbidu železa: [8]



Nebo reakcí vodíku s uhlíkem rozpuštěným v železe:



Plynný metan není schopen difuze a hromadí se proto v místě vzniku, tedy hlavně na hranicích zrn, kde působí silná pnutí vedoucí ke vzniku trhlinek.

#### **2.5.2 *Soustava kov – elektrolyt***

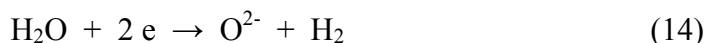
Povrchy kovů přicházejí často do styku s kapalinami. Pro chování kovů mají největší význam elektrolyty, neboť v mnohých z nich kovy korodují. Jde o elektrochemické rozpouštění kovů – tedy elektrochemickou korozi. Mechanismus lze vysvětlit srovnáním se změnami v galvanickém článku. [1]

Kov nabývá oproti kapalině zápornější náboj. Toto rozvrstvení má za následek vznik přitažlivých sil mezi opačně nabitými částicemi a zablokování děje za vzniku elektrické dvojvrstvy. Zrušení přitažlivých sil se při korozi uskutečňuje tím, že některá složka prostředí přijímá elektrony a tím se sama redukuje:



Soustava kov – korozní prostředí je tedy soustavou dvou vzájemně se ovlivňujících (polarizujících) redox systémů (anodického a katodického), v které součást prostředí oxiduje kov na jeho ionty a sama se redukuje příjmem elektronů kovu. Složce prostředí, která se této druhé reakce zúčastňuje, říkáme depolarizátor.

Nejběžnějšími depolarizátory v tomto smyslu jsou ve vodných prostředích ionty vodíku, rozpuštěný kyslík nebo molekuly vody: [7]



Celý korozní proces je složen ze dvou základních skupin dějů : [7]

1. *Chemických dějů probíhajících na rozhraní fází* – oxidace kovu, redukce součástí prostředí a rozpouštění vrstvy.
2. *Transportních dějů probíhajících uvnitř fází* – difúze a konvekce složky prostředí ke kovu a konvence reakčních zplodin do roztoku.

Obsah kyslíku ve vodných roztocích elektrolytů je jedním z nejdůležitějších faktorů.

### **Vliv stavu povrchu na korozi**

Povrch kovů má rozdílný profil, který závisí na způsobu a stupni opracování. Čerstvě opracované povrchy (otryskáváním, mořením a mechanickými operacemi) mají menší korozní odolnost než povrchy vystavené určitou dobu působení suchého vzduchu (kyslík). Povrchová deformovaná vrstva bývá v důsledku pozměněné struktury a vnitřních pnutí aktivnější než vnitřní hmota kovu.

Stav povrchu není tolik významný v prostředí s vysokou korozní agresivitou, protože se v nich povrchové vrstvy velmi rychle rozrušují a stavy povrchu se rychle vyrovnávají. Z toho důvodu je vhodné zbavit povrch výrobků tlustých kysličníkových vrstev (např. okují), korozních produktů z hutních a strojírenských výrob a následně zvýšit jejich odolnost vytvořením homogenní ochranné vrstvy. [8]

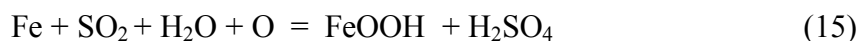
### **2.5.3 Atmosférická koroze ocelí a litin**

Atmosférická koroze je jedním z nejrozšířenějších druhů koroze. Její mechanismus je elektrochemický. K technicky významné atmosférické korozi (dále jen AK) může dojít pouze v dostatečně vlhkých atmosférách, v nichž na povrchu kovů vzniká vrstvička elektrolytu. Malá tloušťka elektrolytu a stálý styk s nadbytkem vzdušného kyslíku vytváří předpoklad pro to, aby katodické děje probíhaly převážně

s kyslíkovou depolarizací. AK závisí na vlhkosti, znečištění, teplotě, srážkách, slunečním záření, větru a biologických činitelích.

Odolnost kovů proti vlivům atmosféry a rychlost jejich korozního rozrušování jsou závislé na vlastnostech vznikajících korozních zplodin. Vzniklá rez je z tohoto hlediska objemná, nevodivá, bez ochranného působení proti další korozi. Korozní zplodiny mají schopnost vázat v nerozpustné formě aniont složky atmosféry, která stimuluje korozi (chloridy, sírany). Rozhodujícím předpokladem vzniku elektrochemického mechanismu AK je překročení minimální vlhkosti a přítomnost znečišťujících složek atmosféry. Z technického hlediska je významná hodnota vlhkosti 60 % relativní vlhkosti, pod kterou prakticky k AK nedochází. [8]

Ve vlhkých ale velmi čistých atmosférách k intenzivní korozi nedochází, protože chybí druhá část rozhodující kombinace činitelů zajišťující rozrušení primární oxidické vrstvičky a je stimulatorem celého děje. Charakter korozních zplodin je tedy závislý na druhu znečištění atmosféry (SO<sub>2</sub>, HCl apod.). Průběh AK oceli za přítomnosti SO<sub>2</sub> lze vyjádřit takto:



Tuhé atmosférické nečistoty, prach, částičky solí atd. se na zesílení AK projevují zejména tehdy, obsahují-li rozpustné soli.

Vliv teploty na průběh AK je velmi složitý, protože podle teorie chemické kinetiky by se měla rychlost AK se stoupající teplotou zvyšovat, ale praktické zkušenosti tomuto předpokladu odporují. Průběh teploty a vlhkosti má často protichůdný charakter, což vede k tomu, že při zvýšení teploty klesne zpravidla vlhkost atmosféry na podkritickou hodnotu a tím zpomalí korozní pochod. Proto jsou často atmosféry relativně studené často agresivnější. [8]

### **Vliv doprovodných prvků ocelí a litin: [8]**

- a) Uhlík – urychluje korozi v neoxidujících prostředích, probíhá s vodíkovou depolarizací. V oxidujících prostředích s převahou kyslíkové depolarizace nemá na korozi Fe podstatný vliv. Koroze je provázena tvorbou ochranných vrstev kysličníků.

- b) Mangan – v obvyklém množství nemá prokazatelný vliv na korozní rychlost v uhlíkových ocelích a litinách
- c) Křemík – obvyklé obsahy 0,1 % až 0,3 % u ocelí a 1 % až 2 % u litin neovlivňují korozní rychlost. Množství Si > 1 % v oceli a Si > 3 % v litině již korozní odolnost snižuje.
- d) Fosfor – jeho vliv není jednoznačný. P > 0,05 % snižuje rychlost koroze, zvláště u atmosférické.
- e) Síra – rychlost koroze u ocelí a litin zvyšuje.
- f) Měď – projevuje se příznivě v rozmezí od 0,2 % do 1 % Cu při atmosférické korozi uhlíkových ocelí s obsahem SO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>.

### 3 PŘÍPRAVA POVRCHU SUBSTRÁTU PŘED APLIKACÍ NÁTĚRU

Kvalitní příprava povrchu je nezbytným předpokladem celého technologického postupu úpravy povrchu a je jedním ze základních faktorů ovlivňujících životnost povlaků. Kovový povrch, který má být opatřen nátěrem, je zpravidla mastný, zarezavělý, znečištěný okujemi, prachem, zbytky starých nátěrů a solemi. Kromě vlivu na přilnavost, působí nečistoty i chemicky a rozrušují povlak nebo mění jeho vlastnosti.

Nečistoty, které mohou ulpět na kovovém povrchu lze rozdělit do dvou skupin: [9]

1. Ulpělé cizí nečistoty – jsou vázány k povrchu pouze adhezivními silami, jedná se o zbytky mastných látek, kovové nečistoty, zbytky brusiv a leštících prostředků. Tyto nečistoty se odstraňují chemickým procesem – odmašťováním.
2. Vlastní nečistoty – jsou vázány k povrchu chemisorpcí, jsou to korozní zplodiny, především okuje a rez. Je důležité tyto nečistoty odstranit před nanesením ochranného povlaku (nátěru) a odstraňujeme je mechanicky (kartáčování, broušení, omílání, oklepávání, otryskávání) nebo chemicky (odrezování a moření).

#### 3.1 Mechanické úpravy povrchu

Účelem mechanických úprav je především: [9]

- Očištění povrchu od nečistot (rzi, okují, písku, grafitu)
- Vytvoření podmínek pro zakotvení povlaku
- Vytvoření podmínek pro zvýšení korozní odolnosti povrchu
- Vytvoření povrchu odpovídajícím vzhledovým požadavkům
- Vytvoření povrchu se zlepšenými mechanickými vlastnostmi

##### 3.1.1 *Kartáčování, broušení, leštění, omílání*

Kartáčování – odstraňují se hrubé nečistoty jako rzi, staré nátěry apod. s použitím elektrických či pneumatických kotoučových kartáčů nebo popř. ručního čištění.



Broušení – je třískové obrábění povrchu nástrojem, který je opatřen brusivem. Může se provádět ručně i strojně. Ruční způsob je ale nejméně účinný a měl by sloužit pouze k dočišťování. Účelem broušení je dosáhnout povrchu požadované drsnosti. Z drsnosti povrchu  $1\text{ }\mu\text{m}$  a více lze dosáhnout drsnosti povrchu  $0,4 - 0,2\text{ }\mu\text{m}$ . [6]

Leštění – odstraňují se nejjemnější stopy po předchozím jemném broušení či kartáčování. Účelem je dosáhnout požadovaného stupně lesku upravovaného povrchu s drsností nižší než  $0,1\text{ }\mu\text{m}$ . Zvolený typ a materiál leštícího kotouče ovlivňuje charakter povrchu.

Omílání – spočívá ve vzájemném omílání předmětů, omílajících těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu nebo zvonu. Je vhodné pro menší předměty oblých tvarů do 1 kg. Povrch se zpevňuje a zvyšuje korozní odolnost. Používá se k odjehlování a leštění výrobků, zaoblení hran, odstranění zbytků tavidel a korozních zplodin, okují atd. Omílací tělesa jsou brusiva a brusné kameny, nosné kameny. Zvětšení úběru dosáhneme přidáním vhodného brusiva (umělý korund, smírek, křemenný písek, přírodní a umělá pemza). Dosáhnout lze drsnosti až  $0,3\text{ }\mu\text{m}$  v závislosti na původní drsnosti. [6]

### 3.1.2 Otryskávání

Otryskávání má uplatnění nejen jako předúprava povrchu před nanášením ochranných povlaků proti korozi, ale také jako konečná úprava. Použití otryskávání jako konečné operace je možné, ale z hlediska náchylnosti otryskaného povrchu k rychlé oxidaci, není toto použití vhodné. Touto technologií lze připravit povrch potřebné jakosti :

- Technicky dokonalé očištění povrchu materiálu od okují, rzi a jiných nečistot
- Dosažení vhodné mikrogeometrie a fyzikálních resp. fyzikálně-mechanických vlastností povrchu [1]

Podstatou otryskávání je vrhání tryskacího prostředku velkou rychlostí (až  $100\text{ m/s}$ ) na povrch součásti. Při dopadu vyvolají tryskací prostředky v povrchových vrstvách kvalitativní změny, přičemž vzniká charakteristická morfologie povrchu. Z hlediska uspořádání mikroskopických nerovností patří otryskaný povrch do skupiny

neorientovaných – izotropních povrchů, jejichž charakter nejvíce ovlivňuje tvar tryskacího média. [1]

Na výslednou geometrii otryskaného povrchu má vliv tvrdost, druh materiálu, zrnitost a hmotnost zrna tryskacího prostředku. Na kvalitu opracované plochy má vliv především rychlost letu zrna, úhel dopadu a jakost média – především jeho tvrdost. Působení částic na povrch je doprovázeno plastickou deformací povrchové vrstvy materiálu a současně dochází k lokálnímu zvýšení napětí. Tenká vrstva na povrchu má vysoké tlakové napětí, které je v rovnováze s vnitřním tahovým napětím. Důsledkem zpevnění materiálu je tedy vznik plastického toku v povrchové vrstvě materiálu.

Intenzita čištění povrchu při otryskávání je závislá na tvaru zrn, druhu otryskávacího materiálu, jejich kinetické energii (hmotě a dopadové rychlosti) na úhlu dopadu a vzdálenosti tryskáče od předmětu. Charakter otryskaného povrchu je jednoznačně daný tvarem zrn otryskávacího prostředku. U kulatých zrn (granulátu) se dosahuje poměrně rovnoměrného přetvoření povrchu, který je tvořený přetínajícími se kulovými plochami. Ostrohranná zrna (grit) způsobují záseky do základního materiálu, které jsou různě orientované a navzájem se přetínají. [15]

Otryskaný povrch se vyznačuje velkou reaktivitou s okolním prostředím, tzn. že dochází ke snadné tvorbě tenkých oxidických filmů. Proto musí být doba mezi otryskáváním a nanášením povlaku co nejkratší, aby bylo docíleno dobré přilnavosti.

### 3.2 Chemické úpravy povrchu

Způsob úpravy povrchu, při kterém chemická činidla reagují s nečistotami na povrchu materiálu. Jedná se především o odmašťování a moření.

#### ***Odmašťování***

Odmašťování je souhrnný název pro odstraňování všech druhů ulpělých nečistot z povrchu kovu, které jsou k povrchu vázány buď fyzikální adsorpcí (např. látky tukového charakteru) nebo adhezními silami (nečistoty, prach, kovové třísky a pod.). Úkolem odmašťovadel je uvolnit tyto nečistoty z povrchu materiálu a převést je do roztoku nebo emulze a zabránit jejich zpětnému vyloučení na povrch materiálu.

Podle způsobu aplikace a styku s rozpouštědly rozlišujeme odmašťování ponorem, postřikem, v parách, elektrolytické, ultrazvukem. [9]

Odmašťování v organických rozpouštědlech – jde o nejjednodušší způsob odmašťování, tedy mastnoty se rozpouští molekulárním pochodem. Výhodou je jednoduchost procesu a vysoká čistící mohutnost. Nevýhodou je že organická rozpouštědla nelze použít na vlhké povrchy, nelze odstranit heteropolární nečistoty (soli, pot, otisky prstů), nutnost regenerace destilací a nevyhovují požadavkům bezpečné a zdravotně nezávadné práce. Používá se petrolej, benzin, benzen, toluen, trichlóretylén a další. [9]

Odmašťování v alkalických roztocích – jedná se o nejrozšířenější způsob odmašťování. Účinnost spočívá hlavně v koloidně chemických pochodech, tj. v emulgaci a dispergaci nečistot nejrozličnějšího druhu, ve zmýdelnění některých mastnot a v zabránění jejich zpětnému ulpění na kovovém povrchu. Alkalickými odmašťovacími lze rozpustit i heteropolární nečistoty rozpustné ve vodě (anorganické soli). Alkalické roztoky obsahují louh nebo sodu, fosforečnany, křemičitany, uhličitany, povrchově aktivní látky (tenzidy) a emulgátory. [1] Zavedením tenzidů se umožnilo snížení pracovní teploty lázní a rovněž upuštění od vysokých hodnot pH a přejít na roztoky slabě alkalické až neutrální nebo dokonce odmašťovat v kyselém prostředí. Odmašťovat alkalickými prostředky lze postřikem (mechanický účinek), ponorem (u profilovaných součástí s pomocí ultrazvuku).

### ***Moření***

Je chemický proces při kterém se odstraňují oxidické povlaky (rzi a okuje) z povrchu kovového materiálu rozpouštěním v kyselině a vytváří se vhodný reliéf povrchu. Oxidické vrstvy na povrchu kovu jsou porézní a těmito póry prochází kyselina, podleptává povlak a vodík, který se uvolňuje ve formě bublinek, podporuje svým tlakem odtrhávání oxidické vrstvy z povrchu materiálu. Současný trend je omezit technologii moření jinou povrchovou úpravou z důvodu nutnosti odsávání exhalátů vznikajících při moření. Tyto exhaláty přispívají ke znečištění ovzduší. [7]

## 4 ORGANICKÉ POVLAKY

Nejvíce rozšířeným způsobem ochrany proti korozním vlivům je v současné době aplikace organických povlaků. Vývoj a použití nových a stále zdokonalených systémů povrchové ochrany dnes ovlivňuje řada činitelů, z nichž nejdůležitější jsou vlivy na životní prostředí a ekonomika povrchových úprav.

Organický povlak musí splňovat následující požadavky:

- Fyziologickou nezávadnost
- Nízký nebo žádný obsah organických rozpouštědel
- Aplikovatelnost nezávislou na okolních vlivech
- Rychlé aplikační postupy
- Žádné toxické pigmenty
- Možnost rychlého zatížení filmu
- Nízké náklady na údržbu

### 4.1 Nátěrové hmoty

Nátěrová hmota je název pro všechny výrobky používané k provádění nátěrů. Jsou to organické látky různých druhů, které jsou nanášeny v tekutém až těstovitém stavu vhodnou nanášecí technikou na předmět, aby na něm vytvořily povlak požadovaných vlastností.

Nátěrové hmoty se skládají z těchto složek: [6]

- Filmotvorné složky (pojiva) – jsou netěkavé látky mající schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a váza disperbované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Jsou to vysychavé oleje, přírodní a umělé živice, deriváty celulózy, kaučuku a asfalty
- Těkavé složky (rozpouštědla) – používají se na rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a na úpravu jejich viskozity při aplikaci. Jsou to benzen, alkoholy, ketony, estery kyseliny octové, terpentýnové silice

- Pigmenty – jsou to organické nebo anorganické částčky, které jsou jemně rozptýleny v pojivu. Dávají nátěrům barevný odstín, krycí schopnost, tvrdost, snižují stárnutí nátěru, zvyšují jeho tepelnou a korozní odolnost
- Plnidla – jsou jemně rozemleté minerální látky nerozpustné v pojivech, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěru
- Aditiva – pomocné přísady jako sušidla, emulgátory, stabilizátory a zvláčňovadla

### 4.2 Přílnavost nátěrového systému

Pojem přílnavost, je schopnost nátěru přilnout k podkladovému materiálu nebo k předešlé nátěrové vrstvě. Pro dosažení dlouhodobé ochranné účinnosti nátěru je žádoucí vysoká adheze<sup>1</sup> nátěru k základnímu materiálu. Adheze je závislá na řadě činitelů, mezi které patří čistota a úprava kovového povrchu, polarita pojidla, charakter pigmentu, atd. Při nedostatečně přílnavém základním nátěru, dochází rychleji k proniknutí korozního prostředí k podkladu a tím i k porušení ochranných vlastností. Při vytváření mechanismu adheze předpokládáme následující vlivy: [3]

- Mechanické zakotvení tekutých částic do základního kovu
- Uplatnění vzájemného působení fyzikálních sil
- Chemické spolupůsobení za vzniku chemických vazeb kovalentního typu

Významný vliv na adhezi povlaku k základnímu materiálu má aktivita povrchu vyvolaná silnou deformací povrchových vrstev po otryskávání. Otryskaný povrch je vysoce reaktivní s okolním prostředím. Reaktivita otryskaného povrchu je poměrně značná a závisí na drsnosti povrchu. Velmi snadno dochází k tvorbě tenkých oxidických filmů. Proto je nutné dodržet dobu mezi otryskáváním a nanášením ochranného nátěru tak, aby byla docílena dobrá přílnavost povlaku. [1]

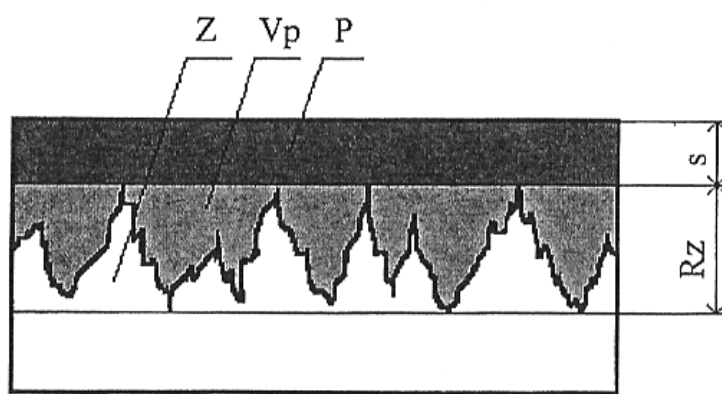
Dále závisí přílnavost nátěrů na jejich tloušťce. Se zvětšením tloušťky dochází vlivem vnitřního pnutí k poklesu adheze. Z tohoto důvodu předepisují normy často minimální, ale i maximální tloušťku nátěru. Přílnavost nátěrového systému je do značné

---

<sup>1</sup> Adheze je přílnavost, která vznikla působením přitažlivých sil mezi částicemi povrchových vrstev stýkajících se různých materiálů.

míry ovlivněna stupněm zarezavění povrchu, stupněm přípravy povrchu (nejčastější pro praxi Sa 2 ½), stavem po způsobu přípravy povrchu a drsností povrchu. Přilnavost nátěrového systému k hladkému, lesklému povrchu bývá obvykle velmi malá. Avšak vysoká drsnost nemusí vést k dostatečné přilnavosti nátěrového systému a také korozní odolnost povrchu je tím snížena.

Při vytváření povlaků na drsném povrchu je třeba vedle hodnot drsnosti uvažovat ještě další veličiny - skutečná velikost povrchového objemu, který se musí vyplnit, aby se zakryly nejvyšší vrcholky nerovností (Obr. 12). [3]



**Obr. 12** – Schématické znázornění příčného řezu povlakem na otryskaném povrchu [3]

s – tloušťka povlaku nad maximální nerovností povrchu [mm], Vp – povrchový objem [mm<sup>3</sup>], P – povlak, Z – základní materiál, Rz – maximální výška nerovností [mm]

#### 4.2.1 Vliv techniky nanášení základního nátěru na přilnavost

Na zakotvení základního nátěru na povrchu kovu má kromě čistoty povrchu významný vliv způsob nanášení nátěrového systému. Hlavním předpokladem pro dobrou adhezi nátěru k povrchu kovu je odstranění všech povrchových nečistot (ulpělých nebo vázaných chemicky) z povrchu kovu. Většinou však neexistuje měřítko pro přímé hodnocení množství těchto nečistot na povrchu. [10]

Některé způsoby čištění nedávají zcela čistý povrch. Například po odmašťování v rozpustidlech a emulzním odmašťování zůstává povrch nesmáčitelný nebo v některých případech po otryskávání, kdy na primárně očištěném povrchu od okují

a rzi zůstává sekundární znečištění prachem z vlastního procesu otryskávání. V tomto případě pak záleží na důkladnosti dodatečného očištění (ofoukání) stlačeným vzduchem. Kromě podílu organických rozpouštědel v nátěru pak také především záleží na technice nanášení nátěru, zda se v takovém případě dosáhne dobré přilnavosti.

Techniku nanášení nátěru na povrch kovu je možné rozdělit na nanášení štětcem, stříkáním nebo ponořováním v nátěrovém systému.

### ***Nanášení štětcem (natíráním)***

Je nejběžnější a používá se při ručních úpravách. Oproti jiným způsobům, kde se nátěrová hmota pouze nanáší, tak u tohoto způsobu se nátěrový systém rozpracovává na ploše. Štětiny nebo vlákna ze kterých se štětec skládá, působí na povrch kovu mechanickým účinkem. [10]

### ***Nanášení stříkáním***

Zde jsou již přísnější požadavky než u předešlého způsobu. Nátěrová hmota se na povrch kovu dostává v podobě jemné mlhoviny a dopadající kapičky nátěrové hmoty se nemísí s nečistotami na povrchu kovu a vytvářejí vždy pouze povlak na povrchu nečistot. Anorganické nerozpustné nečistoty jsou pak vždy vrstvou, která zmenšuje stykovou plochu nátěru s povrchem kovu, což může mít v krajním případě za následek velmi špatnou přilnavost nátěru. [10]

### ***Nanášení ponořováním (máčením)***

U tohoto způsobu je zapotřebí nejdůkladněji vyčištěný povrch, protože zvláště je-li nátěrová hmota v klidu, tak zde nepůsobí žádné mechanické síly, které by pomáhaly odstraňovat nečistoty. Nátěrová hmota neulpívá u nesmáčitelných povrchů, stéká z nich a vytváří buď místní nebo velmi tenký nepravidelný film. Určitého odmaštění lze dosáhnout vlivem rozpustidel obsažených v nátěrové hmotě, je však poměrně pomalé a uvolňuje i tenké mastné filmy teprve po opakovaném namočení. [10] U vodouředitelných nátěrových systémů (podíl VOC do 5 až 8 %), které postupně nahrazují nebo již nahradily v současné době nátěry s organickými rozpouštědly, je částečné odmaštění při máčení v nátěrové hmotě téměř zanedbatelné. Z tohoto důvodu je nutné vyžadovat nejen povrch odmaštěný běžným způsobem, ale také povrch dobře smáčitelný.

## 5 NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

*a) Zkoušky provedené na povrchu substrátu předupraveném mechanicky a chemicky:*

- Stanovení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1
- Stanovení stupně korozní agresivity prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2 a ČSN EN 12 500
- Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287 – drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-301

*b) Zkoušky provedené na základní nátěrové hmotě před aplikací nátěrového systému:*

- Stanovení viskozity nátěrové hmoty dle ČSN EN ISO 2431

*c) Zkoušky provedené na naaplikovaném základním nátěru:*

- Měření tloušťky nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 – zubová měrka Elcometer, tloušťkoměr Elcometer 456, tloušťkoměr Minitest 3001
- Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 – mechanický odtrhoměr Elcometer 106/4
- Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 2409 – kotoučový nůž Elcometer 1542



## 6 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKY

### 6.1 Stanovení čistoty povrchu

Čistota povrchu je předepsána normou ČSN EN ISO 8501-1. [22] Tato norma popisuje různé metody přípravy povrchů a jim přiřazuje dané stupně přípravy se základním popisem vzhledu po očištění povrchu. Vyhodnocení spočívá pouze v hodnocení vzhledu povrchu (Tabulka 4).

**Tabulka 4** – Standardy stupňů přípravy pro celkovou přípravu povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 [22]

Stupeň přípravy	Metoda přípravy	Základní znaky povrchu	Rozsah použití
Sa 1	Otryskávání	Jsou odstraněny špatně přilnavé okuje, rez, vrstvy nátěru, cizí látky	Příprava povrchu:
Sa 2		Je odstraněna většina okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbytky nečistot musí být pouze pevně přilnavé	a) nenatřené ocelové povrchy
Sa 2 ½		Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbylé stopy nečistot musí být stíny ve formě skvrn nebo pásů	b) natřené ocelové povrchy, jsou-li odstraněny do stanoveného stupně přípravy
Sa 3		Okuje, rez, nátěry, cizí látky jsou odstraněny. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.	
St 2	Ruční nebo mechanizované čištění	Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry, cizí látky	
St 3		Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry, cizí látky. Povrch však musí být upraven důkladněji než u St 2. Musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.	
FI	Čištění plamenem	Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry, cizí látky. Všechny zbytky se mohou projevovat pouze jako změna barevného odstínu povrchu.	
Be	Moření v kyselině	Jsou kompletně odstraněny okuje, rez a zbytky nátěrů. Nátěrové hmoty musí být odstraněny před mořením v kyselině vhodnými prostředky.	Např. před žárovým zinkováním ponorem

## 6.2 Stanovení stupně korozní agresivity prostředí

Stupně korozní agresivity atmosféry a příklady typických prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2 je uvedeno v Tabulce 5. [23]

**Tabulka 5** – Popis typických prostředí pro odhad stupňů korozní agresivity [23]

Stupně korozní agresivity		Příklady typických prostředí mírných klimatických pásem (pouze informativní)	
		Venkovní	Vnitřní
C1	velmi nízká	—	Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
C2	nízká	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
C3	střední	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním SO <sub>4</sub> , přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
C4	vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
C5	velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
C5	velmi vysoká (přímorská)	Přímorské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

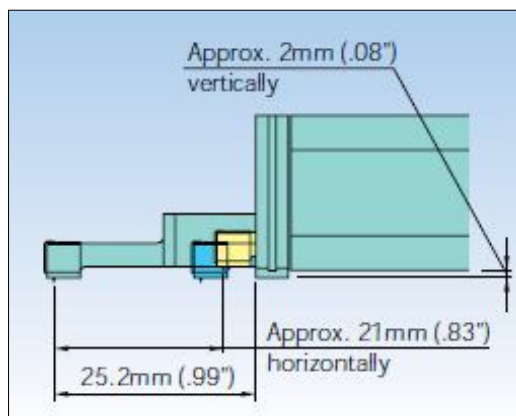
## 6.3 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu je provedeno přenosným drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301 (Obr. 13) dle ČSN EN ISO 4287 [24]. Tato norma stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti vlnitosti a základního

profilu) profilovou metodou. Jde o normalizovanou metodu využívající profil nerovnosti vzniklý v rovině řezu (2D). Profil povrchu substrátu je získáván dotykem diamantového snímacího hrotu (Obr. 14).

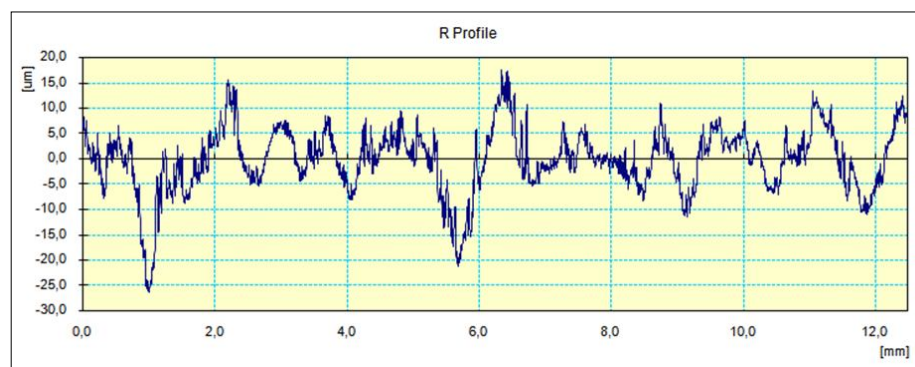


**Obr. 13** – Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ 301 [16]



**Obr. 14** – Posuvová jednotka se snímacím hrotem [16]

Příklad změřeného profilu drsnosti a jeho grafický záznam z přístroje Surftest SJ-301 (Obr. 15).



**Obr. 15** – Grafický záznam profilu drsnosti z přístroje Surftest SJ-301

#### 6.4 Stanovení viskozity nátěrové hmoty

Postup vychází z normy ČSN EN ISO 2431 (Nátěrové hmoty – Stanovení výtokové doby výtokovými pohárky). Norma je českou verzí normy EN ISO 2431:1996. Pro měření se používá výtokový pohárek dle ISO 2431 s průměrem trysky 4 mm (Obr. 16). [25]



**Obr. 16** – Výtokový pohárek s průměrem trysky 4 mm [11]

#### **Postup měření:**

K měření se používá výtokového pohárku o obsahu  $100\text{ cm}^3 + 1\text{ cm}^3$ . Měření se provádí při teplotě prostředí lakovny. Viskozita se měří u vytemperované barvy na teplotu 18 až 23°C dle technické informace o nátěrovém systému. Otvor pohárku se zakryje prstem, zkoušená hmota se nalije do pohárku až po okraj. Pohárek se drží vodorovně. Při provozních měřeních se pohárek ponoří zcela do nátěrové hmoty, následně se vyjme tak, aby hladina byla ve vodorovné poloze. Měří se doba od vyjmutí celého pohárku do prvního přerušení proudu kapaliny. Pro vyloučení nepřesností se provádí opakovaně tři porovnávací měření a stanoví se průměrná hodnota. Výsledná hodnota se udává v sekundách při teplotě  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . [11]

### **6.5 Měření tloušťky nátěrového systému**

Tloušťka povlaku byla stanovena v souladu s normou ČSN EN ISO 2808 (nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru). [26]

#### **6.5.1 Měření tloušťky mokré vrstvy**

Tloušťka mokré vrstvy byla změřena jednorázovým plastovým hřebem Elcometer 154, z důvodu uchování výsledků měření a dokumentaci dle ISO, rozsah měření 50-800  $\mu\text{m}$  (Obr. 17).

Vnější zuby hřebenu tvoří základní linii. Vnitřní zuby jsou postupně zkracovány tak, že tvoří odstup mezi základní linií zubů a daným zubem. Velikost každého odstupu se odečítá na stupnici měřky. Bezprostředně po nanesení nátěrové hmoty se hřeben pevně přitiskne k podkladu tak, že jeho zuby jsou kolmo k rovině povrchu. Hřeben se oddálí a určí se nejkratší zub, který je ještě potřísněn nátěrovou hmotou. Zaznamená se tloušťka, která odpovídá průměrné hodnotě mezi posledním nepotřísněným a prvním potřísněným zubem.



**Obr. 17** – Hřeben Elcometer 154 s rozsahem měření 50-800  $\mu\text{m}$  [17]

### 6.5.2 Měření tloušťky suché vrstvy

Pro stanovení tloušťky suché vrstvy byla použita nedestruktivní metoda, založená na principu měření nemagnetických povlaků na magnetických podkladech. Měření bylo provedeno přístrojem Elcometer 456 (Obr. 19). Měřicí přístroj (s externí sondou nebo zabudovanou sondou) se přiloží k měřenému povlaku a na digitálním displeji se zobrazí hodnota nanesené vrstvy nátěrové hmoty v mikrometrech.



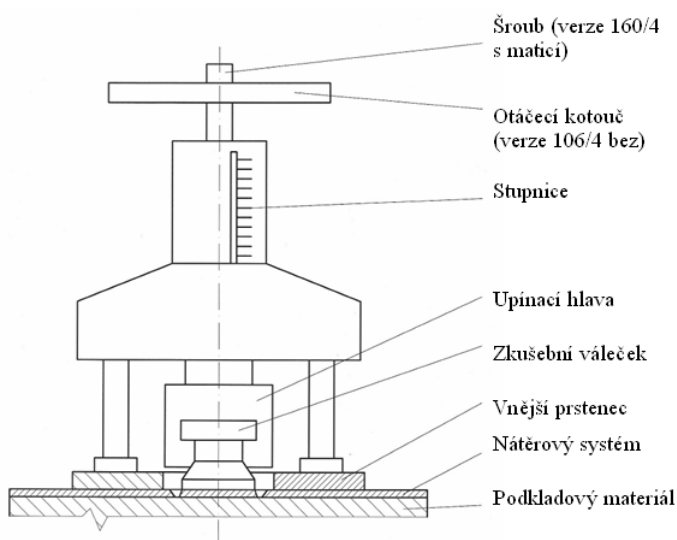
**Obr. 19** – Elcometer 456, rozsah měření 50-1500  $\mu\text{m}$  [18]

## 6.6 Odrhová zkouška přilnavosti

Přilnavost nátěrového systému odtrhem se provádí a hodnotí dle ČSN EN ISO 4624. [27] V souladu s touto normou jsou zkoušky provedeny přenosným odtrhoměrem Elcometer model F106/4 s měřicím rozsahem 0-22 MPa (Obr. 20). Schéma přístroje je vyobrazeno na Obr. 21.



**Obr. 20** – Přístroj Elcometer 106/4



**Obr. 21** – Schéma přístroje Elcometer 106/4

### *Zkušební prostředky a pomůcky*

- Přenosný odtrhoměr Elcometer 106/4 s rozsahem měření 0-22 Mpa
- Zkušební váleček z hliníkové slitiny dle ČSN EN ISO 4624
- Řezný nástroj – ostrý nůž na proříznutí vytvrzeného lepidla a nátěru až na podklad podél obvodu zkušebního válečku
- Lepidlo Araldite Standard – epoxidové dvousložkové lepidlo, mísící poměr 1:1

### *Charakteristika lomu*

Výsledek se udává jako procentuální podíl plochy zkušebního válečku, připadající na některou charakteristickou polohu lomu ve zkoušeném systému, a to na adhezní, kohezní a adhezně – kohezní lom. K zápisu zjištěných výsledků lze účelně použít následující schéma: [27]

A = kohezní lom v podkladu

A/B = adhezní lom mezi podkladem a nátěrem

B = kohezní lom nátěru

B/Y = adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem

Y = kohezní lom v lepidle

Y/Z = adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním válečkem

Odrhová pevnost je dána vzorcem:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (16)$$

$$F = \frac{\sigma \times \pi d^2}{4} \quad (17)$$

$\sigma$  – napětí v tahu [MPa],  $F$  – odtrhová síla [N],  $d$  – průměr zkušebního válečku [mm]

### ***Postup zkoušky***

- Jemným smirkovým papírem obrousíme váleček i nátěr
- Namícháme dvousložkové lepidlo v poměru 1:1
- Naneseme na funkční plochu válečku
- Váleček přilepíme na nátěr, necháme vytvrdit 24 hodin při teplotě 23°C a relativní vlhkosti vzduchu 55%
- Po vytvrzení lepidla, prořízneme nátěr podél zkušebního válečku pomocí řezného nástroje až na podklad
- Umístíme vnější prstenec na nátěr a nasuneme mechanický odtrhoměr Elcometer
- Po odtržení válečku odečteme hodnoty odtrhové pevnosti (napětí v tahu)
- Vyhodnotíme lomové plochy a očistíme váleček od zbytků lepidla a barev

### ***Vyhodnocení***

Výsledkem zkoušky je minimální tahové napětí (v MPa), které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom) zkušebního uspořádání a posouzení lomové plochy na zkoušeném podkladu a zkušebního tělíška.

## 6.7 Mřížková zkouška přilnavosti

Jako druhá metoda pro hodnocení přilnavosti byl použita mřížková zkouška dle ČSN ISO 2409, která specifikuje zkušební metodu pro určení odolnosti nátěru k oddělení od podkladu, když nátěr je porušen mřížkovým řezem až k podkladu. [28]

### *Zkušební prostředky a pomůcky*

- Řezný nůž ELCOMETER 1542 (Obr. 22) s rozstupem břitů na kotoučové části 1 mm (dle tloušťky suché vrstvy do 60  $\mu\text{m}$ )
- Průhledná samolepící páska šíře 25 mm
- Měkký štětec
- Lupa



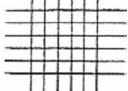
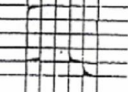
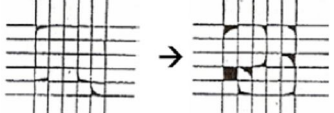
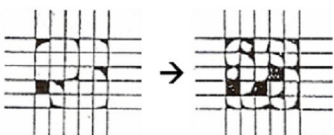
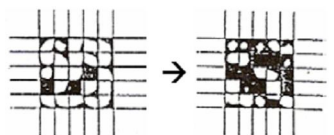

**Obr. 22** – Kotoučový nůž Elcometer 1542 s rozestupy břitů 1 mm [19]

### *Postup zkoušky*

Kotoučovým řezným nástrojem se zhotoví řez do nátěrového systému (8 řezů). Otočíme nůž o 90° a zhotovíme řez kolmo na předešlý řez tak, aby se vytvořila mřížka. Měkkým štětcem několikrát lehce přejedeme podél obou úhlopříček mřížky. Na vzniklou mřížku nalepíme samolepící pásku. Aby se zajistil dobrý kontakt s nátěrem, přejedeme pásku konečky prstů. Samolepící páska se uchopí za volný konec a stáhne se pod úhlem přibližně 60°. Bezprostředně po stažení pásky se provede vizuální hodnocení. Klasifikuje se porovnáním a popisem dle ČSN ISO 2409 (Tabulka 6).



**Tabulka 6** – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [28]

Klasifikace	Popis	Schéma
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % celkové plochy	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 %, ale méně než z 65 %	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4, více jak 65 %	

## 7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

### 7.1 Vyhodnocení vlivu působení korozního prostředí na změnu drsnosti otryskaného podkladu

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem vlivu časové prodlevy na změnu parametrů drsnosti litinového podkladového materiálu.

Po očištění povrchu (otryskávání) před aplikací nátěrového systému je kovový povrch vysoce zaktivizován a tímto se velmi rychle pokrývá oxidickou vrstvou. Proto má své opodstatnění nalézt vhodný časový interval mezi ukončením přípravy povrchu a aplikací ochranného povlaku.

#### 7.1.1 Charakteristika vzorků

##### **Materiál vzorků**

- ŠEDÁ LITINA – označení dle ČSN 42 2415, dle EN-GJL-150 (EN-JL 1020). Tato šedá litina se odlévá do kokil v Siemens elektromotory, s.r.o., Mohelnice. Výrobním sortimentem jsou jednotlivé díly elektromotorů jako kostry, štíty, víka svorkovnice a patky. Jedná se o očkovanou litinu s matricí feriticko-perlitickou pro běžné použití, vhodnou na tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny od 4-30 mm nebo na odlitky u kterých se nevyžaduje záruka mechanických vlastností
- Vsázkové suroviny – odpadový dynamoplech, ocelový odpad s nízkým obsahem Si, vlastní vratný materiál (zmetky), nauhličovalo – petrokoks, očkovačlo ferosilicium 65% (65 % Si), ferosfor 15%/25% (15 % P nebo 25 % P) [13]
- Mechanické vlastnosti: [14]

Pevnost v tahu	R <sub>m</sub>	150-250 N/mm <sup>2</sup>
Smluvní mez kluzu	R <sub>p</sub>	98-165 N/mm <sup>2</sup>
Tažnost	A	0,8-0,3 %
Pevnost v tlaku	σ <sub>db</sub>	600 N/mm <sup>2</sup>

Pevnost v ohybu  $\sigma_{dB}$  250 N/mm<sup>2</sup>

Max. tvrdost HB 200

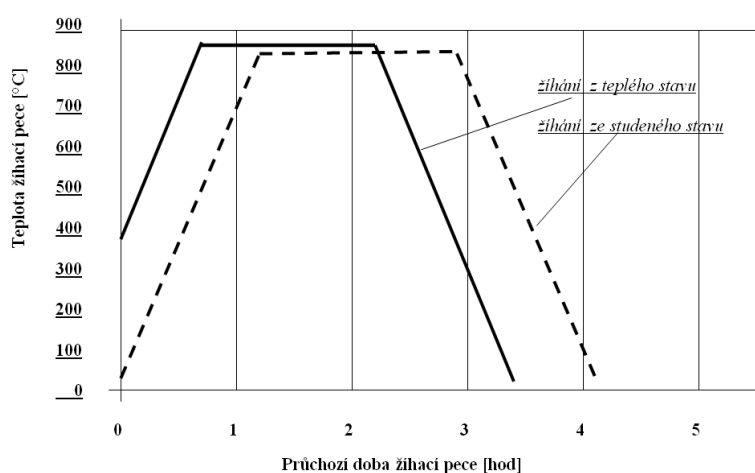
- Chemické složení – z rozboru tavby firmy Siemens Elektromotory, s.r.o. (Tabulka 7)

**Tabulka 7** – Chemické složení šedé litiny (ČSN 42 2415)

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
Chem. slož. v [%]	3,879	2,333	0,340	0,249	0,046	0,018	0,014	0,002	0,025	0,007

- Rozměry vzorků – odlitek víko svorkovnicové, 120 × 120 × 10 [mm]

Odlitky (vzorky) lité do *kokily* byly po odlití tepelně zpracovány žiháním ke zlepšení obrobiteľnosti (simulace technologického postupu jako při velkosériové výrobě). Po odlití je ve struktuře volný cementit, jehož základní vlastností je vysoká tvrdost, křehkost a obtížná obrobiteľnost. Při žhacím procesu se rozpadá cementit za současného vzniku grafitu a austenitu. K rozložení volného cementitu je nutná teplota 800-900 °C s následnou výdrží na této teplotě (Obr. 23). Pomalým ochlazováním z této teploty se docílí výsledné struktury s pravidelným rozložením feritu a perlitu, která je třískově obrobiteľná. [12]



**Obr. 23** – Diagram tepelného zpracování litiny ČSN 42 2415 [12]

Po tepelném zpracování žiháním byly vzorky otryskány v bubnovém tryskači typu B10 × 12, 5S/W2C/SK firmy STEM (Obr. 24). Jádrem celého zařízení tvoří tryskací

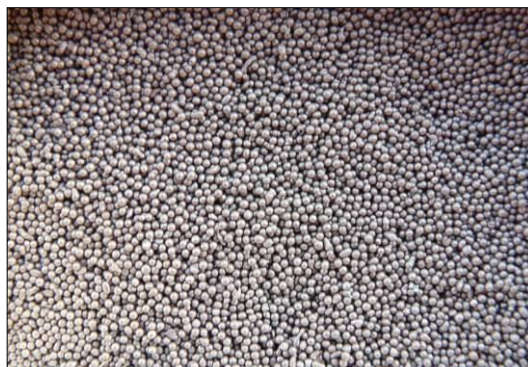
komora. Pro pohyb a otáčení odlitků umístěných v bubnu tryskací komory slouží ocelový deskový smyčkový dopravník. Nad tryskací komorou v její zadní části je umístěno jedno metací kolo které dodává patřičnou energii tryskacímu prostředku. K uzavření komory slouží ocelové posuvné dveře ovládané pomocí pneumatického válce. K vložení odlitků do tryskací komory slouží skipový nakladač s hydraulickým pohonem vyklápění.



**Obr. 24** – Bubnový tryskač firmy STEM se skipovým nakladačem [20]

Parametry tryskání – čistý čas 7 min., ampérmetr metacího kola nastaven na hodnotu 28 A, ampérmetr smyčkového dopravníku nastaven na hodnotu 5 A.

Tryskací prostředek – ocelový granulát (kulaté abrazivo) S 330 (Obr. 25) je vyroben z nadeutektoidní speciálně upravené oceli. Má jemnou homogenní strukturu temperovaného martenzitu, která vykazuje optimální odrazovou pružnost a odolnost proti únavě materiálu. Tento materiál je optimální pro většinu aplikací využívajících otryskávání pomocí metacích kol. [21] Základní údaje včetně chemického složení uvádím v Tabulce 8.

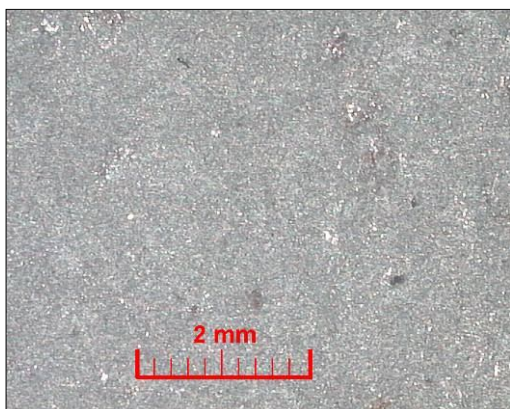


**Obr. 25** – Ocelový granulát S 330

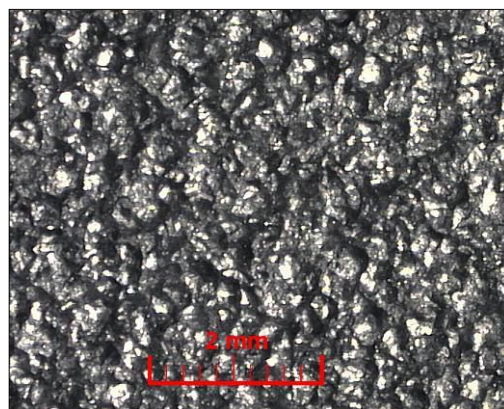
**Tabulka 8** – Základní údaje ocelového granulátu S 330 [21]

Název	Chemické složení [%]	Tvrdost	Oko síta [mm]			
			1,40	1,18	0,85	0,71
<b>Ocelový granulát S 330</b>	C 0,75-1,20	průměr z 10 měření 460-560 HV 1 směrodatná odchylka max.40 HV 1	materiál zadržený nad kontrolním sítem [%]			
	Mn 0,60-1,10 Si 0,60-1,10 P max. 0,04 S max. 0,04		0	min. 5	max. 85	max. 96

Mikroskopický rozbor povrchu šedé litiny ČSN 42 2415 pořízený na světelném mikroskopu Neophot 32 ve firmě Siemens Elektromotory, s.r.o. Mohelnice. Okujený povrch Obr. 26 a otryskaný povrch ocelovým granulátem S 330 Obr. 27.



**Obr. 26** – Snímek okujeného povrchu šedé litiny ČSN 42 2415 před otryskáním, zvětšení 20 ×



**Obr. 27** – Snímek povrchu šedé litiny ČSN 42 2415 otryskaného granulátem S 330, zvětšení 20 ×

### 7.1.2 Charakteristika korozních prostředí

Zaměřil jsem se na dva možné případy působení korozního prostředí na otryskaný povrch odlitků při mezioperačním skladování, které mohou nastat v technické praxi. Prvním případem je skladování otryskaných odlitků ve výrobní hale slévárny a druhým případem je skladování otryskaných odlitků pod přístřeškem ve venkovním prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu, tedy odlitky jsou chráněny proti přímému vlivu deště. Změna drsnosti povrchu otryskaných odlitků je hodnocena v závislosti na době působení těchto korozních prostředí.

Stupeň agresivity korozního prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu byl stanoven dle ČSN EN ISO 12944-2, stupeň agresivity korozního prostředí ve výrobní hale slévárny nebyl stanoven dle normy ČSN EN ISO 12944-2, neboť tato norma necharakterizuje korozní agresivitu specifických provozních atmosfér – v blízkosti chemických a metalurgických výrob. Teplota a relativní vlhkost vzduchu byla měřena přístrojem COMETER THZ1, rozsah měření teploty 0-40°C, rozsah měření relativní vlhkosti 5-95%.

### a) Korozní prostředí A

#### Prostředí výrobní haly slévárny

- Průměrná teplota sledovaná v průběhu 96 hodin 19,8 °C
- Průměrná relativní vlhkost vzduchu sledovaná v průběhu 96 hodin 40,5 %
- Stupeň agresivity nestanoven – specifická provozní atmosféra

Vzorky byly ihned po otryskání rozloženy na vzduchu ve výrobní hale slévárny po dobu 1, 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72 a 96 hodin (Obr. 28). Po odebrání z korozního prostředí byly vzorky před změřením drsnosti zabaleny do vzduchotěsných sáčků. Po změření parametrů drsnosti byly hodnoty zaznamenány do tabulek.

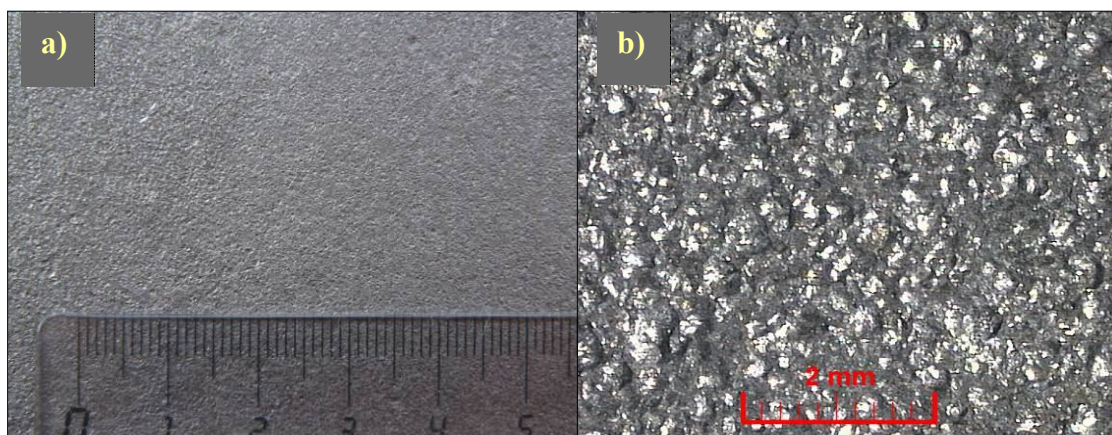


**Obr. 28** – Otryskané vzorky uložené v prostředí výrobní haly slévárny

Na Obr. 29 je v různém zvětšení vidět otryskaný povrch po působení 96 hodin korozního prostředí A. Korozní napadení není viditelné. Na Obr. 30 je porovnání otryskaného povrchu bez působení korozního prostředí a po působení 96 hodin



korozního prostředí A. Po 96 hod. působení korozního prostředí je viditelný tmavší odstín povrchu.



**Obr. 29** – Otryskaný povrch po působení 96 hod. korozního prostředí A (výrobní hala slévárny), a) – měřítko 1:1, b) – zvětšení 20 ×



**Obr. 30** – Otryskaný povrch, a – nevystavený koroznímu prostředí, b – po 96 hod. působení korozního prostředí A (výrobní hala slévárny)

### **b) Korozní prostředí B**

#### Prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu

- Průměrná teplota sledovaná v průběhu 96 hodin 22 °C
- Průměrná relativní vlhkost vzduchu sledovaná v průběhu 96 hodin 85 %
- Stupeň agresivity C3 ÷ C4

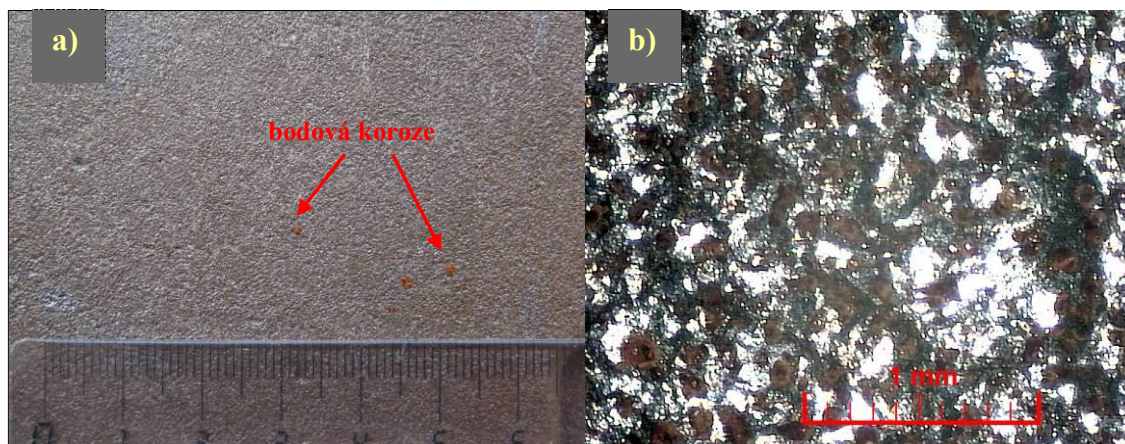
Situaci kdy se skladují otryskané odlitky pod přístřeškem ve venkovním prostředí s teplotami přesahujícími 20 °C a hodnotami relativní vlhkosti přesahující 60 %, jsem se snažil přiblížit simulací v uzavřeném prostředí (Obr. 31). Obal prostředí

tvořil neprodyšný igelitový pytel. Uvnitř byla umístěna drátěná paleta a v horní části palety rošty s umístěnými vzorky. Pod rošty na dno drátěné palety byly umístěny vany naplněné destilovanou vodou. Pro dosažení co nejvyšších hodnot vlhkosti byly ještě použity navlhčené textilie, které při každém vyjmutí vzorků byly namočené v horké vodě. Ve sledovaném období 96 hodin bylo průměrně dosaženo 85% vlhkosti vzduchu a teploty 22 °C.



**Obr. 31** – Otryskané vzorky uložené v korozním prostředí B (prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu)

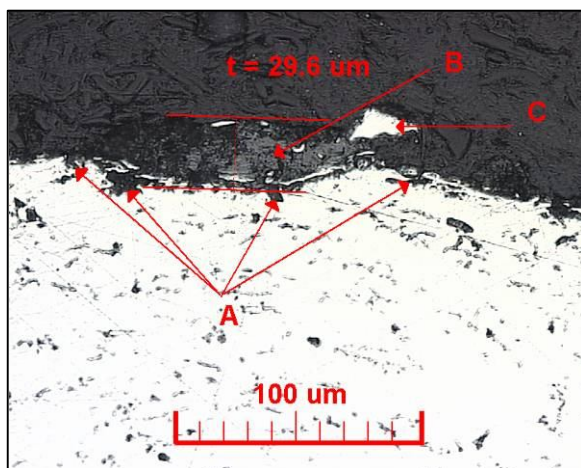
Na Obr. 32 je v různém zvětšení vidět otryskaný povrch po působení 96 hodin korozního prostředí B. Povrch již pokrývá z 85 % rovnoměrná koroze (Obr. 32 a,b) a místně i bodová koroze ze 2 % (Obr 32 a).



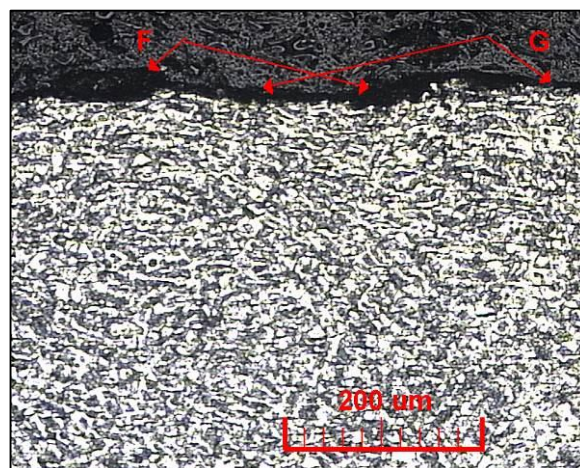
**Obr. 32** – Otryskaný povrch po působení 96 hod. korozního prostředí B (prostředí se zvýšenou vlhkostí), a) – měřítko 1:1, b) – zvětšení 50 ×



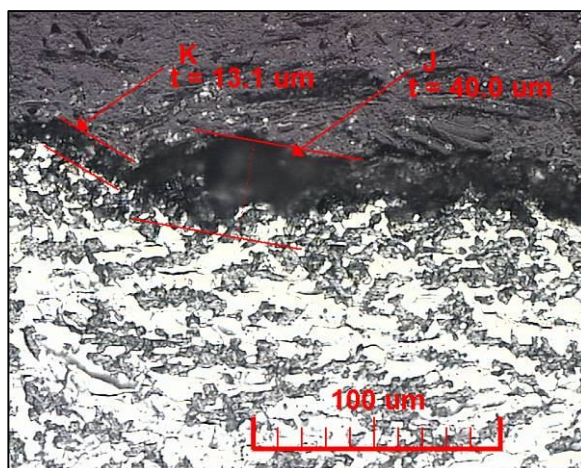
Z metalografického rozboru je na Obr. 33 vzorek bez leptu z korozního prostředí B po 96 hod., koroze je patrná na povrchu a již prostupující do povrchové vrstvy. Tloušťka korozní vrstvy až 30  $\mu\text{m}$ . Na Obr. 34, 35, 36 (leptáno Nital 4 %) plošná koroze již lépe viditelná. Tmavá místa jsou produkty rozpadu ledeburitu (přechlazený grafit po žhání), těmito útvary se koroze šíří nejrychleji. Světlé útvary s viditelnými hranicemi zrn je feritická fáze – opět vzniklé po žhání.



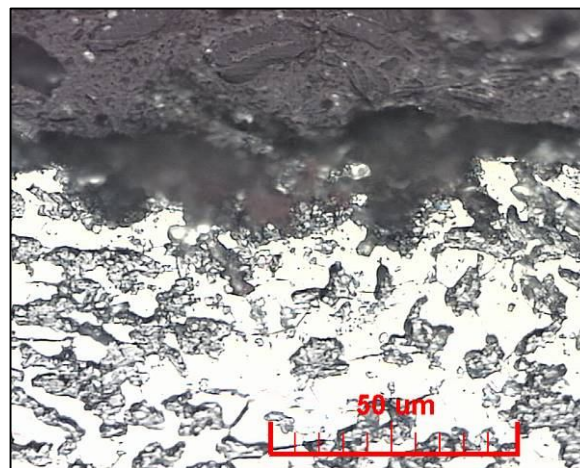
**Obr. 33** – Vzorek bez leptu, zvětšení 250  $\times$ , tloušťka korozní vrstvy 30  $\mu\text{m}$ , A – korozní produkt v povrchové vrstvě, B – koroze těsně na povrchu, C – šupina zákl. materiálu vzniklá při otryskávání



**Obr. 34** – Leptáno Nital 4 %, zvětšení 100  $\times$ , F – bloky bodové koroze, G – rovnoměrná koroze

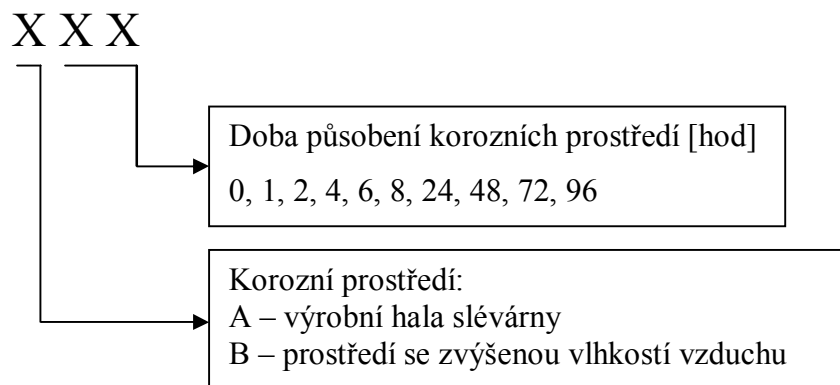


**Obr. 35** – Vzorek leptáno Nital 4 %, zv. 250  $\times$ , J – bodová koroze o tloušťce 40  $\mu\text{m}$ , K – rovnoměrná koroze o tloušťce 10  $\mu\text{m}$  (vyskytuje se na celé ploše povrchu přibližně o stejné tloušťce)



**Obr. 36** – Vzorek leptáno Nital 4 %, zv. 500  $\times$ ,

### 7.1.3 Systém značení vzorků



*Příklad značení:* B6 – otryskaný vzorek vystavený v korozním prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu (B) po dobu 6 hodin.

### 7.1.4 Vyhodnocení vývoje drsnosti v korozních prostředích

Měření bylo provedeno drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ 301 dle ČSN EN ISO 4287. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a z průměrných hodnot byly sestrojeny grafy a vývoj parametrů drsnosti byl graficky vyhodnocen metodami statistické analýzy. Doba expozice vzorků v korozních prostředí byla stanovena 0, 1, 2, 4, 6, 8, 24, 48, 72, 96 hodin. Parametry měření:  $\lambda_c = 2,5$  mm, R profile – profil drsnosti, měřené parametry – Ra, Rz, Rq. Grafické záznamy profilu drsnosti všech měřených vzorků uvádím v příloze diplomové práce.

Počet vzorků jedné série uložené v korozním prostředí (příklad jedné série – A1 nebo B24) byl volen tak, že v každém časovém intervalu působení korozních prostředí, byly vyjmuty tři vzorky. První vzorek byl vysušen a zabalen v neprodyšném sáčku na kterém byla později změřena drsnost. Na zbylé dva vzorky byl do 15 min. po vyjmutí z korozních prostředí aplikován základní nátěrový systém, na kterých byla po vytvrzení nátěrového systému provedena zkouška přilnavosti nátěru. Z toho na jednom vzorku odtrhová zkouška přilnavosti (počet zkušebních odtrhů – 2), na druhém vzorku mřížková zkouška přilnavosti (počet zkušebních mřížek – 3).

Vzorky otryskány dne 20.4.2009, čas uložení do korozních prostředí (A, B) v 8:15 hod.

a) **Korozní prostředí A** (výrobní hala slévárny)**Tabulka 9** – Parametry drsnosti vzorků Ra, Rz exponovaných v prostředí A

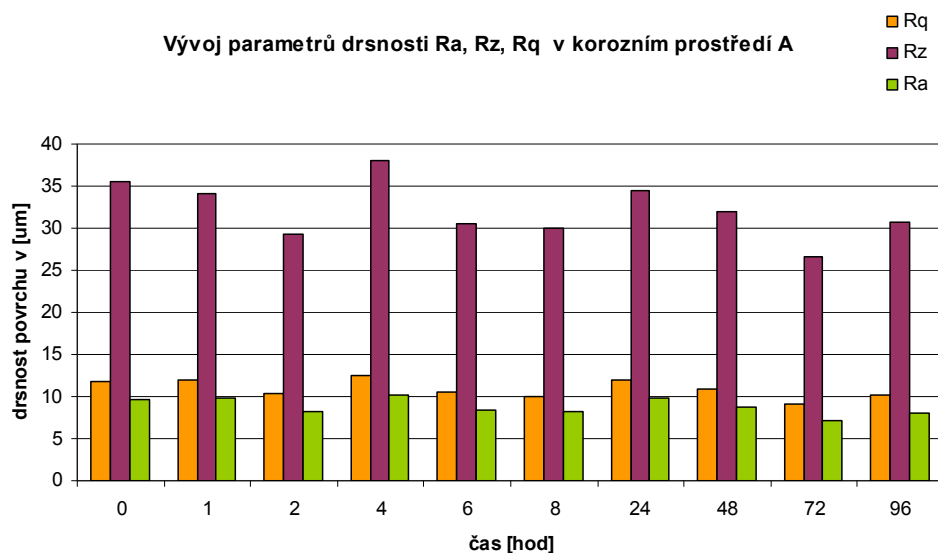
Vzorek	Ra [um]					Průměr Ra	Rz [um]					Průměr Rz
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
<b>A0</b>	8,45	9,96	9,62	9,07	11,12	<b>9,64</b>	32,14	38,24	34,22	34,23	39,23	<b>35,61</b>
<b>A1</b>	10,26	9,67	9,56	10,75	8,71	<b>9,79</b>	37,30	31,48	33,51	37,78	30,76	<b>34,17</b>
<b>A2</b>	9,10	7,40	5,91	9,12	9,92	<b>8,29</b>	32,66	25,01	22,93	30,34	35,59	<b>29,31</b>
<b>A4</b>	12,40	9,42	9,03	9,43	10,48	<b>10,15</b>	45,94	33,52	33,04	35,85	42,03	<b>38,08</b>
<b>A6</b>	7,98	9,24	8,17	8,65	7,70	<b>8,35</b>	28,97	35,84	28,49	30,14	29,26	<b>30,54</b>
<b>A8</b>	7,05	8,86	9,86	8,59	6,36	<b>8,14</b>	27,34	31,86	35,44	30,07	24,94	<b>29,93</b>
<b>A24</b>	9,98	8,58	12,02	8,37	10,01	<b>9,79</b>	37,47	30,51	41,01	29,71	33,80	<b>34,50</b>
<b>A48</b>	8,59	7,70	10,05	8,98	7,99	<b>8,66</b>	32,00	30,48	34,58	31,73	30,84	<b>31,93</b>
<b>A72</b>	7,57	7,03	8,19	7,22	6,09	<b>7,22</b>	27,21	27,20	28,93	25,48	23,84	<b>26,53</b>
<b>A96</b>	7,87	8,15	5,95	11,29	7,21	<b>8,09</b>	27,68	30,80	28,80	39,72	26,25	<b>30,65</b>

**Tabulka 10** – Parametry drsnosti vzorků Rq exponovaných v prostředí A

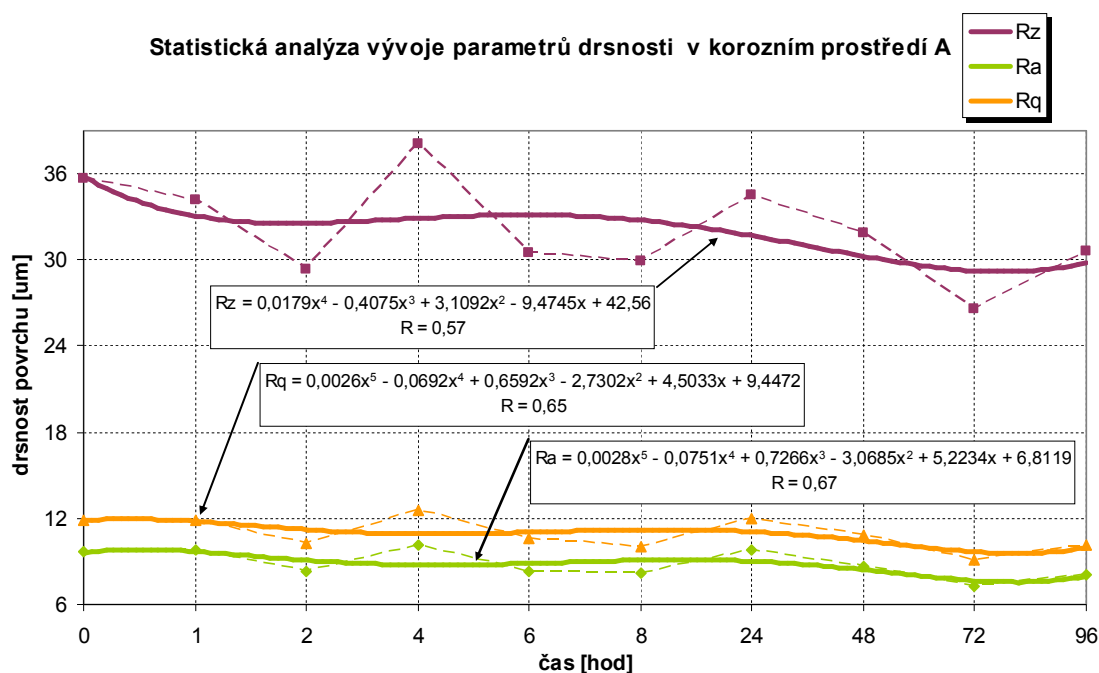
Vzorek	Rq [um]					Průměr Rq
	1	2	3	4	5	
<b>A0</b>	10,27	12,49	11,67	11,05	13,72	<b>11,84</b>
<b>A1</b>	12,68	11,49	11,47	13,26	10,62	<b>11,90</b>
<b>A2</b>	11,39	9,19	7,44	11,44	12,05	<b>10,30</b>
<b>A4</b>	15,18	11,31	11,09	11,98	12,94	<b>12,50</b>
<b>A6</b>	10,23	11,91	10,00	10,85	9,77	<b>10,55</b>
<b>A8</b>	8,75	10,91	12,33	10,30	7,85	<b>10,03</b>
<b>A24</b>	12,22	10,68	14,56	10,18	12,11	<b>11,95</b>
<b>A48</b>	10,59	9,93	12,51	11,03	10,03	<b>10,82</b>
<b>A72</b>	9,88	8,69	10,16	9,02	7,72	<b>9,09</b>
<b>A96</b>	9,69	10,22	7,63	13,93	9,16	<b>10,13</b>

Parametr drsnosti Rq byl zvolen z důvodu jeho významu při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. Naopak vypovídací schopnost parametru drsnosti Ra je nízká, protože nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu jako parametr drsnosti Rz.

U vzorků exponovaných v korozním prostředí A nebyl korozní produkt viditelný, ale došlo již ke změně odstínu povrchu vlivem působení korozního prostředí A (viz kapitola 7.1.2 a). Drsnost povrchu se v celém sledovaném období (96 hodin) snižovala.



**Graf 1** – Vývoj parametrů drsnosti Ra, Rz a Rq u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí A (výrobní hale slévárny)



**Graf 2** – Korelační analýza vývoje parametrů drsnosti Ra, Rz a Rq u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí A (výrobní hale slévárny)

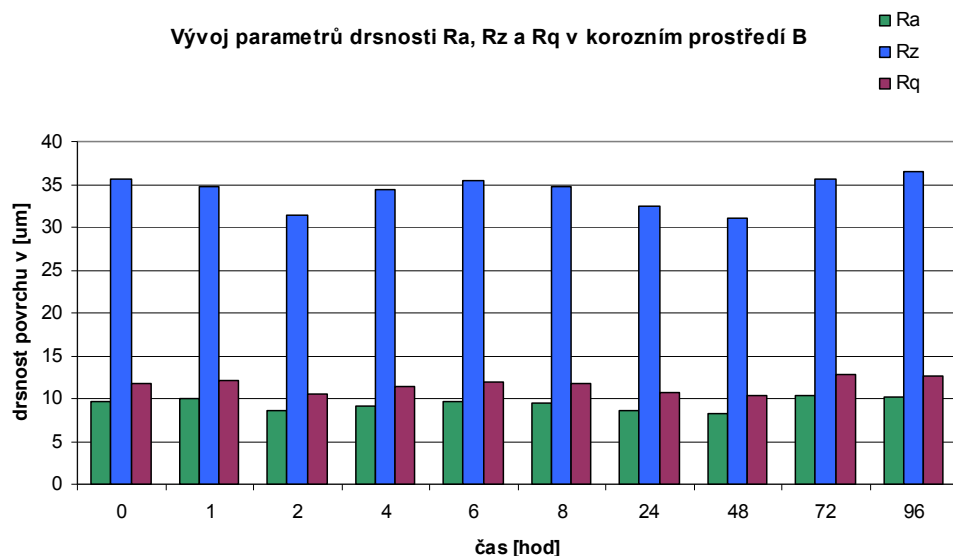
b) **Korozní prostředí B** (prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu)**Tabulka 11** – Parametry drsnosti vzorků Ra, Rz exponovaných v prostředí B

Vzorek	Ra [um]					Průměr Ra	Rz [um]					Průměr Rz
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
<b>B0</b>	8,45	9,96	9,62	9,07	11,12	<b>9,64</b>	32,14	38,24	34,22	34,23	39,23	<b>35,61</b>
<b>B1</b>	9,86	9,84	9,87	10,68	9,69	<b>9,99</b>	34,23	31,83	33,99	38,60	35,00	<b>34,73</b>
<b>B2</b>	9,70	7,92	9,06	7,53	8,72	<b>8,59</b>	32,81	30,62	31,1	29,47	33,28	<b>31,46</b>
<b>B4</b>	10,76	8,32	10,09	8,94	7,82	<b>9,19</b>	36,79	33,73	41,88	31,33	28,59	<b>34,46</b>
<b>B6</b>	9,30	8,75	8,04	9,96	11,89	<b>9,59</b>	34,67	31,99	30,11	38,04	42,41	<b>35,44</b>
<b>B8</b>	8,84	9,62	10,72	9,24	8,93	<b>9,47</b>	30,72	34,73	44,63	32,19	31,23	<b>34,70</b>
<b>B24</b>	8,74	5,49	11,86	6,22	10,70	<b>8,60</b>	30,20	20,82	47,49	24,32	39,12	<b>32,39</b>
<b>B48</b>	8,87	6,49	9,45	7,18	9,13	<b>8,22</b>	34,11	26,40	33,14	25,86	35,73	<b>31,05</b>
<b>B72</b>	12,67	11,12	8,57	10,14	8,97	<b>10,29</b>	41,38	41,32	30,97	33,87	30,23	<b>35,55</b>
<b>B96</b>	10,67	9,64	9,03	10,91	10,50	<b>10,15</b>	36,40	35,81	32,28	38,82	38,79	<b>36,42</b>

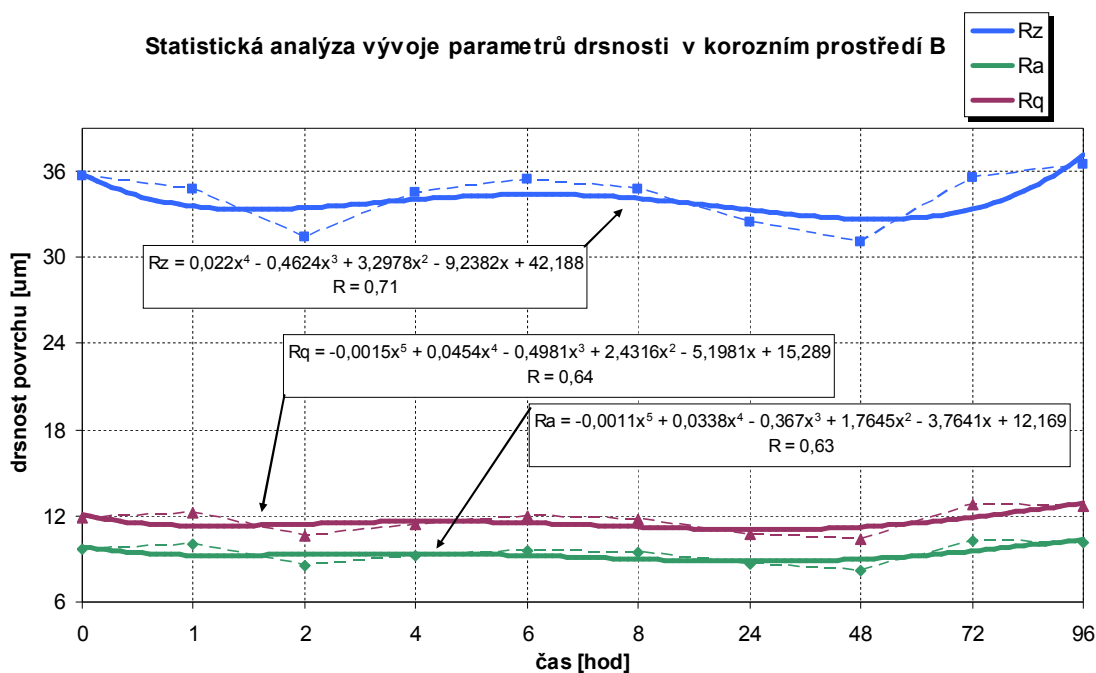
**Tabulka 12** – Parametry drsnosti vzorků Rq exponovaných v prostředí B

Vzorek	Rq [um]					Průměr Rq
	1	2	3	4	5	
<b>B0</b>	10,27	12,49	11,67	11,05	13,72	<b>11,84</b>
<b>B1</b>	11,97	11,89	12,23	13,08	11,68	<b>12,17</b>
<b>B2</b>	11,67	9,91	11,09	9,57	10,59	<b>10,57</b>
<b>B4</b>	13,58	10,36	12,23	11,08	9,55	<b>11,36</b>
<b>B6</b>	11,69	10,88	9,89	12,32	15,16	<b>11,99</b>
<b>B8</b>	10,69	12,13	13,64	11,43	10,96	<b>11,77</b>
<b>B24</b>	10,70	6,84	15,09	8,07	12,97	<b>10,73</b>
<b>B48</b>	11,26	8,63	11,64	9,02	11,44	<b>10,40</b>
<b>B72</b>	15,21	14,38	10,67	12,43	11,02	<b>12,74</b>
<b>B96</b>	13,36	11,99	11,31	13,51	12,98	<b>12,63</b>

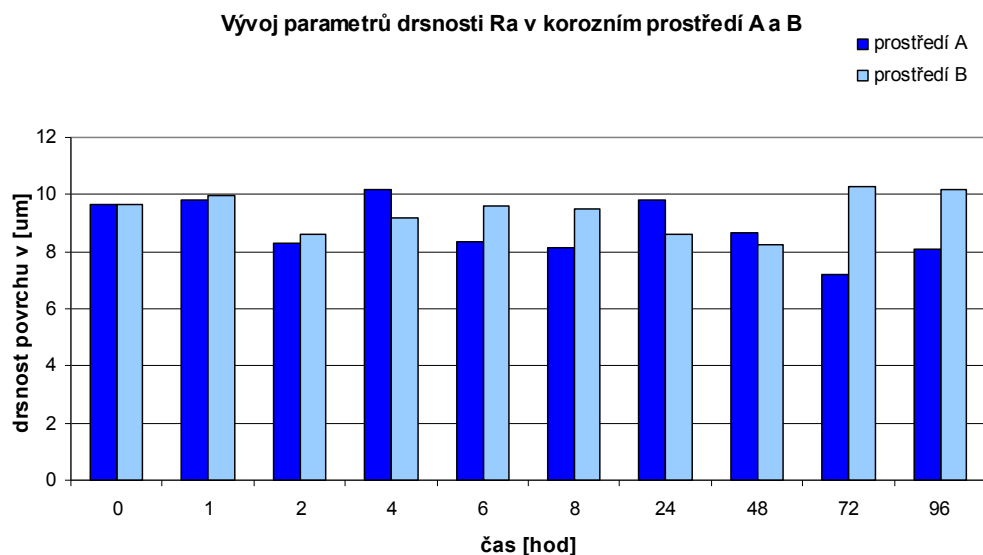
U vzorků exponovaných v korozním prostředí B byl korozní produkt již viditelný (viz kapitola 7.1.2 b). Drsnost povrchu začala růst od 48 hodin působení korozního prostředí B.



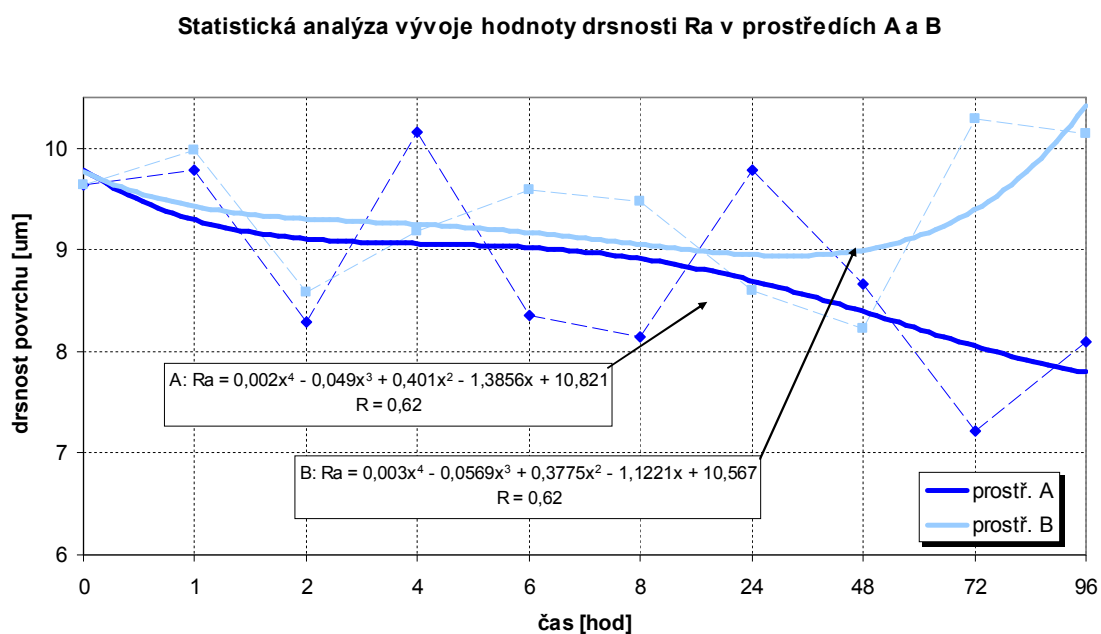
**Graf 3** – Vývoj parametrů drsnosti Ra, Rz a Rq u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí B (prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu)



**Graf 4** – Korelační analýza vývoje parametrů drsnosti Ra, Rz a Rq u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí B (prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu)

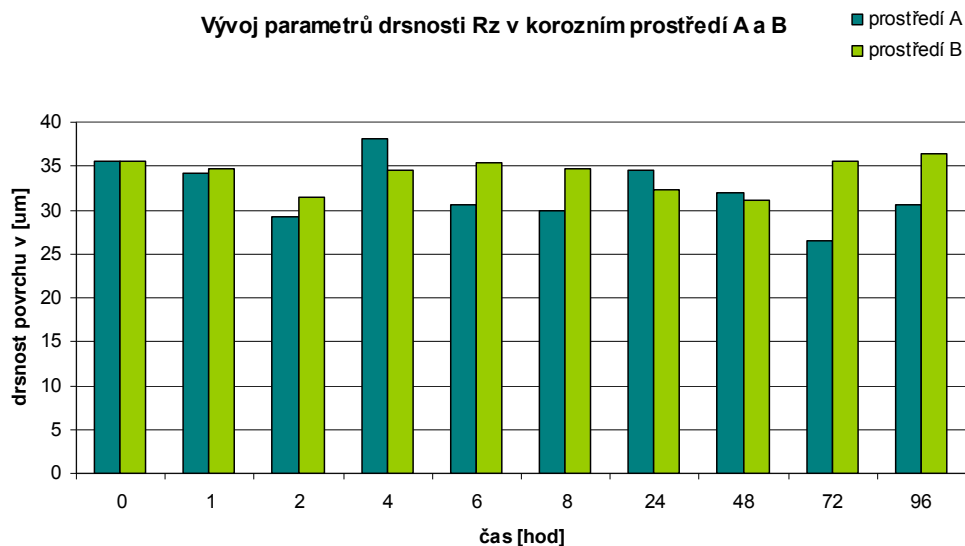
c) Porovnání vývoje parametrů drsnosti v korozních prostředí A a B▪ *Parametr drsnosti povrchu Ra*

**Graf 5** – Vývoj parametrů drsnosti Ra u otryskaných vzorků exponovaných v korozních prostředích A a B

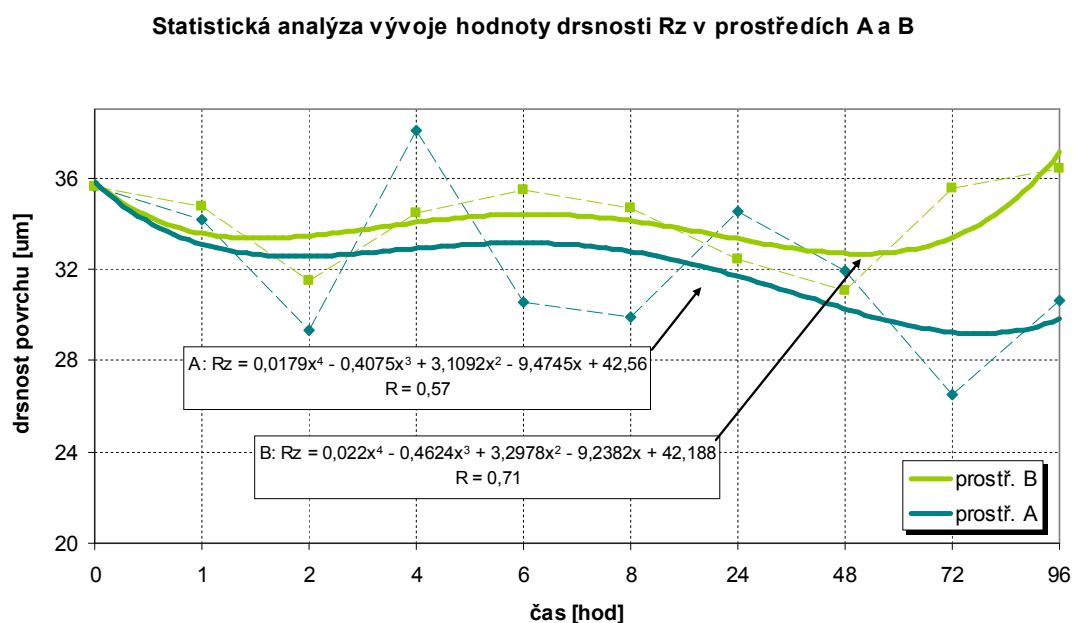


**Graf 6** – Korelační analýza vývoje parametrů drsnosti Ra u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí A a B

▪ *Parametr drsnosti povrchu Rz*



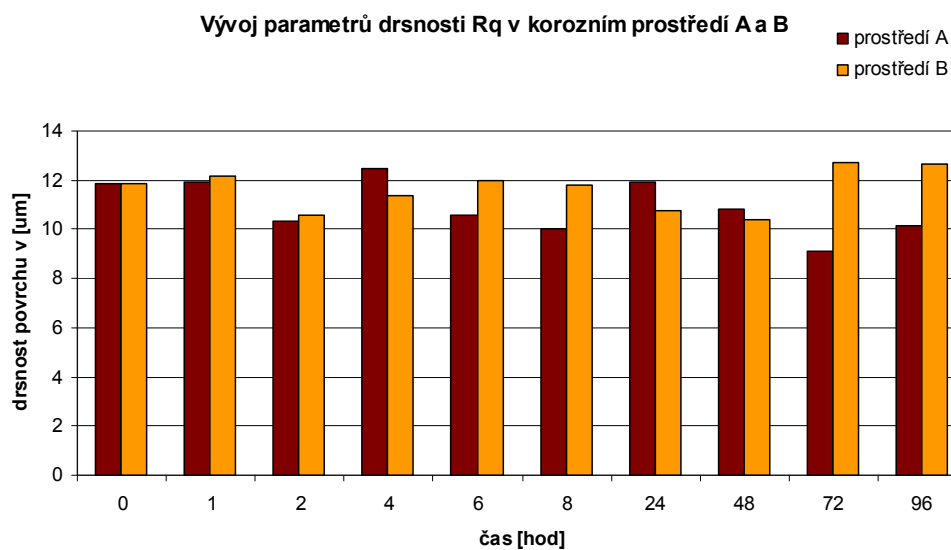
**Graf 7** – Vývoj parametrů drsnosti Rz u otryskaných vzorků exponovaných v korozních prostředích A a B



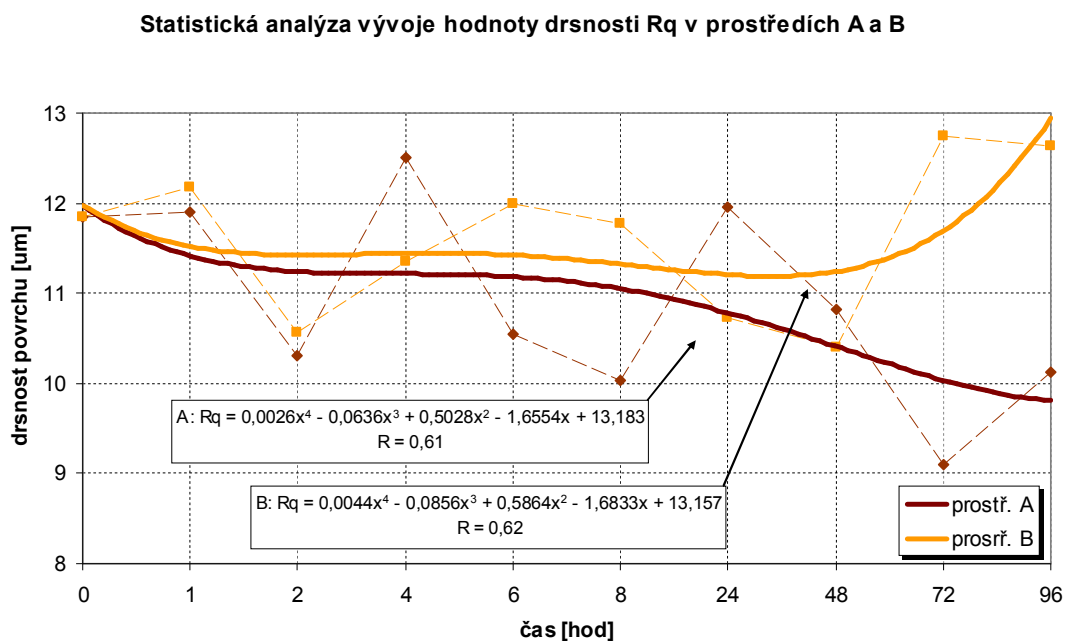
**Graf 8** – Korelační analýza vývoje parametrů drsnosti Rz u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí A a B



▪ *Parametr drsnosti povrchu Rq*



**Graf 9** – Vývoj parametrů drsnosti Rq u otryskaných vzorků exponovaných v korozních prostředích A a B



**Graf 10** – Korelační analýza vývoje parametrů drsnosti Rz u otryskaných vzorků exponovaných v korozním prostředí A a B

### 7.1.5 Závěr

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem vlivu působení korozního prostředí na změnu drsnosti povrchu otryskaných odlitků z šedé litiny litých do kokil. Vzorky byly umístěny ve dvou korozních prostředích a po působení korozních prostředí byly změřeny a zaznamenány hodnoty parametrů drsnosti Ra, Rz a Rq.

Vzorky, které byly exponované v korozním prostředí A (výrobní hala slévárny) nevykazovaly viditelné korozní napadení. S dobou působení korozního prostředí A povrch vykazoval tmavší odstín – tedy kovový povrch s atmosférou prostředí reagoval, ale již ne tak intenzivně jako u korozního prostředí B (prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu). Ve sledovaném 96 hodinovém období se drsnost povrchu dle matematického modelu (míra spolehlivosti cca 60 %) v korozním prostředí A snižovala. V průběhu prvních 24 hodin pozvolněji, ve zbylém čase již strměji. To si lze vysvětlit suší povahou působící atmosféry (40 % relativní vlhkosti) a příměsí znečišťujících plynů s kyselější povahou prostředí. Vznikající korozní produkt je hůře rozpustný, čímž snižuje drsnost tím, že zaplňuje prohlubně profilu drsnosti povrchu.

Vzorky, které byly vystavené působení korozního prostředí B (se zvýšenou vlhkostí vzduchu), již s dobou působení tohoto korozního prostředí vykazovaly viditelné korozní napadení. Z 80 % pokrývala povrch vzorků rovnoměrná koroze a z 5 % bodová koroze. Drsnost povrchu se dle matematického modelu (míra spolehlivosti cca 70 %) pozvolněji snižovala do 48 hodin a po této době se již začala strměji zvyšovat až do konce sledovaného období 96 hodin. Zvyšování drsnosti povrchu si lze vysvětlit tím, že korozní produkt se začal již rozpouštět a odhalovat reliéf povrchu. Vzniklé korozní produkty v korozním prostředí B jsou čisté povahy – tedy bez příměsí SO<sub>2</sub> a jiných znečišťujících zplodin v atmosféře, čímž je působení tohoto prostředí méně agresivní. Ve srovnání s korozním prostředí A je agresivita korozního prostředí B však mnohem vyšší (dáno relativní vlhkostí vzduchu 85 % a teplotou nad 20 °C – podmínky pro vznik elektrochemické reakce v elektrolytu).

## **7.2 Vyhodnocení vlivu působení korozního prostředí na přilnavost nátěru**

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem vlivu změny drsnosti povrchu na přilnavost základného vodouředitelného nátěrového systému (NS).

Přilnavost NS je do značné míry ovlivněna stupněm zarezavění povrchu, stupněm přípravy povrchu, stavem po způsobu přípravy povrchu a drsností povrchu.

Na zakotvení NS na povrchu kovu má kromě čistoty povrchu významný vliv způsob nanášení NS. Nejdůkladněji připravený povrch vyžaduje nanášení NS máčením. Nepůsobí zde žádné mechanické síly, které by pomáhaly odstraňovat nečistoty. U vodouředitelných NS s obsahem VOC do 8 % je částečné odmaštění povrchu při ponořování zanedbatelné, proto je nutné vyžadovat povrch nejen odmaštěný, ale i dobře smáčitelný.

### **7.2.1 Pracovní postup přípravy vzorků**

- 1) Odlev šedé litiny ČSN 42 2415 do kokil (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- 2) Žíhání odlitých vzorků z teplého stavu za teploty 800-900 °C po dobu 3,5 hodiny (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- 3) Otryskání vzorků na stupeň Sa 2½ (viz kapitola 7.1.1)
- 4) Měření parametrů drsnosti otryskaného povrchu vzorků (viz kapitola 7.1.4)
- 5) Vystavení vzorků v korozních prostředích (viz kapitola 7.1.2)
- 6) Měření drsnosti povrchu po působení korozních prostředí (viz kapitola 7.1.4)
- 7) Navěšení vzorků na závěsný dopravník, kterým jsou svázány jednotlivé technologické operace povrchové úpravy (viz kapitola 7.2.2)
- 8) Změření tloušťky NS po vytvrzení (viz kapitola 7.2.3)

### **7.2.2 Použitý nátěrový systém a jeho aplikace**

Způsob nanášení NS na otryskané vzorky jsem zvolil stejný, jako při nanášení NS v technické praxi – používány při tzv. základování odlitků ve velkosériové výrobě

v mohelnické firmě Siemens Elektromotory, s.r.o. (viz Obr. 37). Podstatou je nanášení ochranného základního nátěru na povrch odlitků máčením ve vodouředitelném NS. Proces je mechanizovaný závěsným dopravníkem. Před vlastním namáčením odlitků je zařazena odmašťovací linka, kde se z litinového povrchu odlitků odstraňují všechny druhy ulpělých nečistot (prach po otryskání, kovové třísky po apretaci apod.), které jsou k povrchu kovu vázány adhezivními silami. Po namáčení odlitků následuje sušící komora a na závěr se odlitky svěšují ze závěsného dopravníku ve skladě odlitků, kde dochází k vytvrzení NS po stanovenou minimální dobu.



**Obr. 37** – Schéma technologických operací svázaných podvěsným dopravníkem

*a) Odmašťovací průchozí linka*

- Sekce odmaštění – alkalický odmašťovací prostředek HDD (technický list je součástí přílohy diplomové práce), koncentrace 2,88 %, teplota lázně 40 °C
- Sekce prvního oplachu – teplota vodní lázně 45 °C
- Sekce druhého oplachu – teplota vodní lázně 25 °C
- Sekce vysušení – teplota vzduchu cca 90 °C
- Sekce ochlazení – studený vzduch

*b) Máčecí linka*

- NS – vodouředitelná základní barva weco – FAN, třída 833 od firmy Weckerle na bázi kombinace alkydu a polymerní disperze (technický a bezpečnostní list je součástí přílohy diplomové práce), podíl VOC 5 %,
- Viskozita NS měřena dle ČSN EN ISO 2431 [25] (viz kapitola 6.4), 22 sekund – průměr trysky 4 mm
- Teplota NS 21 °C

*c) Sušící komora (dvouetážová)*

- Pravá etáž (sekce) – teplota 80,6 °C
- Levá etáž (sekce) – 80,2 °C

*d) Průběžné časy jednotlivých linek svázaných závěsným dopravníkem*

- Rychlost dopravníku –  $2,1 \text{ m.s}^{-1}$
- Navěšení odlitků až po odmašťovací linku 5 min., odmašťovací linka (odmaštění – vysušení) 13 min., mezičas před vstupem do máčecí vany (linky) 12 min., máčecí linka – sušící komora 6 min., sušící komora cca 85 min., sušící komora – svěšení ve skladě odlitků 10 min. Celkem čas od navěšení po svěšení 130 min.

*e) Vytvrzení odlitků (vzorků)*

- Sklad odlitků – teplota  $19^\circ\text{C}$ , relativní průměrná vlhkost 54 % (v období 7 dnů)
- Minimální doba vytvrzení nátěru dle technické informace výrobce 72 hodin

**7.2.3 Tloušťka nátěrového systému**

Základní vodouředitelný NS je jednovrstvý, byl vysušen v sušící komoře při teplotě  $80^\circ\text{C}$  po dobu cca 85 minut a vytvrzen po dobu 7 dnů. Tloušťka NS byla měřena dle ČSN EN ISO 2808 [26] magnetickou metodou. Tloušťka mokré vrstvy se pohybuje mezi 100-125  $\mu\text{m}$ .

**Tabulka 13** – Tloušťka suché vrstvy NS vzorků z korozního prostředí A

Vzorek	Počet měření [ $\mu\text{m}$ ]										Průměr [ $\mu\text{m}$ ]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A0	29,2	29,0	30,7	32,9	30,4	34,8	23,8	24,6	25,5	26,2	28,7
A1	17,0	17,7	21,7	26,4	24,7	16,1	19,6	19,8	20,3	15,2	19,9
A2	17,1	19,5	26,7	24,4	29,5	24,6	15,1	20,6	16,0	15,6	20,9
A4	21,4	24,0	30,0	19,0	22,3	23,5	14,1	11,7	16,8	18,3	20,1
A6	23,5	23,3	24,1	32,2	18,0	19,3	20,1	25,6	18,0	20,2	22,4
A8	22,7	16,1	15,2	18,4	22,8	20,0	17,7	17,0	19,5	19,8	18,9
A24	25,9	37,2	37,8	38,2	23,5	30,9	21,7	22,9	22,4	24,4	28,5
A48	28,5	24,9	26,6	30,6	32,0	35,3	30,4	23,6	23,9	26,2	28,2
A72	21,9	23,8	20,3	28,2	27,3	21,5	21,3	15,1	20,4	20,8	22,1
A96	22,2	25,6	20,3	28,9	21,8	26,7	27,5	30,2	19,7	27,0	25,0

**Tabulka 14** – Tloušťka suché vrstvy NS vzorků z korozního prostředí B

Vzorek	Počet měření [μm]										Průměr [μm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>B0</b>	29,2	29,0	30,7	32,9	30,4	34,8	23,8	24,6	25,5	26,2	28,7
<b>B1</b>	17,7	19,1	16,5	19,3	25,1	22,2	27,7	23,8	21,7	17,6	21,1
<b>B2</b>	22,4	22,3	23,4	18,9	20,3	25,1	26,9	22,1	21,7	17,4	22,1
<b>B4</b>	20,6	17,9	20,9	16,0	21,6	24,6	18,8	16,4	19,6	24,1	20,1
<b>B6</b>	17,8	18,4	16,7	23,6	31,1	23,0	21,0	18,7	16,1	19,6	20,6
<b>B8</b>	19,0	14,5	12,5	15,7	22,5	28,1	23,8	16,3	12,3	16,5	18,1
<b>B24</b>	18,7	21,9	25,2	20,2	34,5	30,8	30,4	26,7	16,3	31,4	25,6
<b>B48</b>	29,4	31,9	22,7	22,7	27,4	24,4	22,0	31,7	33,5	34,7	28,0
<b>B72</b>	27,3	19,3	34,7	27,6	34,3	29,1	21,0	27,3	18,4	26,3	26,5
<b>B96</b>	29,7	32,4	35,5	25,1	22,1	26,0	23,6	26,9	32,0	28,5	28,2

#### 7.2.4 Odtrhová zkouška přilnavosti

Odtrhovou zkoušku přilnavosti jsem provedl a vyhodnotil dle ČSN EN ISO 4624 [27] po vytvrzení NS (viz kapitola 6.6). Hodnoty minimálního tahového napětí (MPa) potřebného k roztržení nejslabší fáze a charakteristiky lomů [%] jednotlivých vzorků uvádím v Tabulce 15,16.

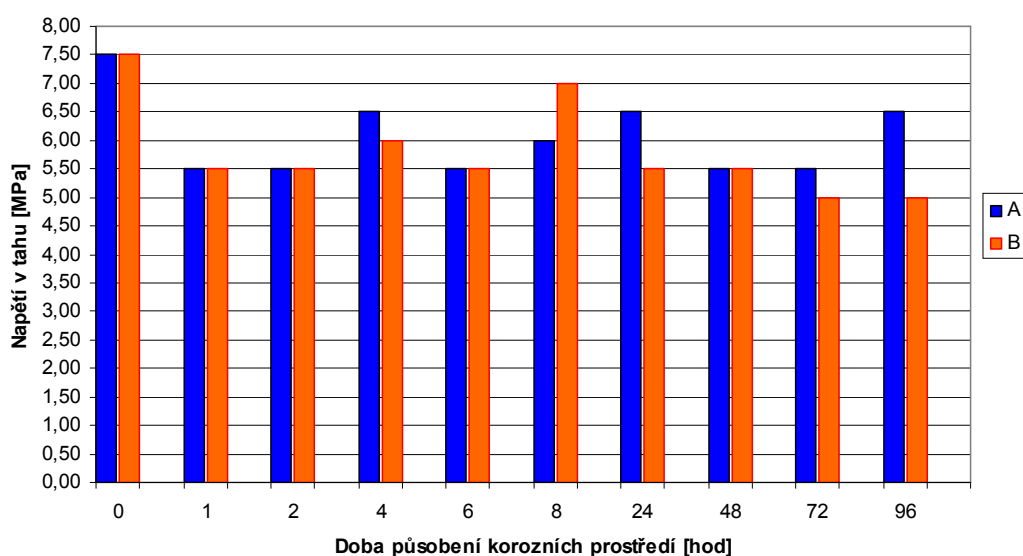
**Tabulka 15** – Odtrhová pevnost NS a charakteristika lomu vzorků z korozního prostředí A

Vzorek	Měření	Napětí v tahu [MPa]	Odtrhová síla [N]	Průměr [MPa]	Charakteristika lomu [%]					
					A	A/B	B	-/Y	Y	Y/Z
<b>A0</b>	1.	7	2356	7,5	5		95			
	2.	8			5	50	45			
<b>A1</b>	1.	6	1728	5,5	20	20	60			
	2.	5				20	80			
<b>A2</b>	1.	6	1728	5,5	5	30	65			
	2.	5				20	80			
<b>A4</b>	1.	7	2042	6,5		30	70			
	2.	6			5	35	60			
<b>A6</b>	1.	5	1728	5,5		10	90			
	2.	6				10	90			
<b>A8</b>	1.	7	1885	6	10	10	80			
	2.	5			20	10	70			
<b>A24</b>	1.	7	2042	6,5	5		95			
	2.	6			5		95			
<b>A48</b>	1.	5	1728	5,5	5	15	80			
	2.	6			5	5	90			
<b>A72</b>	1.	5	1728	5,5		15	85			
	2.	6			5		95			
<b>A96</b>	1.	8	2042	6,5	10	5	85			
	2.	5			20		80			

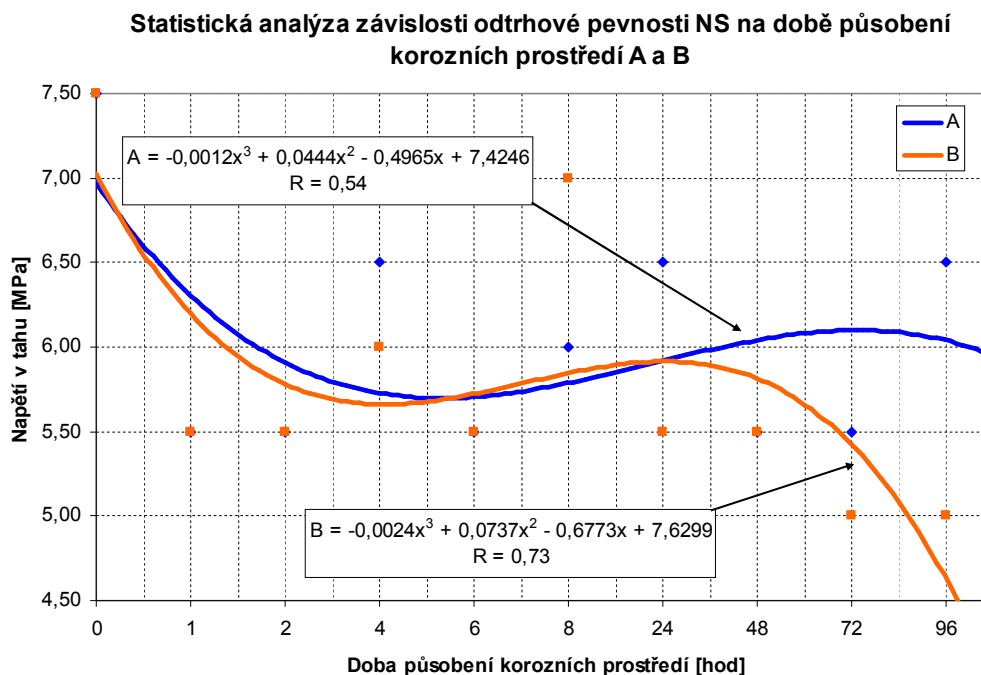
**Tabulka 16** – Odtrhová pevnost NS a charakteristika lomu vzorků z korozního prostředí B

Vzorek	Měření	Napětí v tahu [MPa]	Odtrhová síla [N]	Průměr [MPa]	Charakteristika lomu [%]					
					A	A/B	B	-/Y	Y	Y/Z
B0	1.	7	2356	7,5	5		95			
	2.	8			5	20	65			
B1	1.	6	1728	5,5	10	20	70			
	2.	5			15	10	75			
B2	1.	5	1728	5,5	5	5	75			15
	2.	6			5	5	80			
B4	1.	6	1885	6	10	20	70			
	2.	6				25	65			10
B6	1.	6	1728	5,5		15	85			
	2.	5				5	95			
B8	1.	7	2199	7	10	15	70			5
	2.	7				35	65			
B24	1.	5	1728	5,5	5	15	80			
	2.	6			10	15	75			
B48	1.	5	1728	5,5	5	5	90			
	2.	6			10	5	85			
B72	1.	5	1571	5	15	5	80			
	2.	5			5	15	80			
B96	1.	5	1571	5	10	15	75			
	2.	5			10	10	80			

**Odtrhová pevnost NS vzorků z korozních prostředí A a B**



**Graf 11** – Vývoj odtrhové pevnosti v závislosti na době působení korozních prostředí A ( hala slévárny) a prostředí B (zvýšená vlhkost vzduchu)



**Graf 12** – Korelační analýza trendu vývoje odtrhové pevnosti NS v závislosti na době působení korozních prostředí A ( hala slévárny) a B (zvýšená vlhkost vzduchu)

Z tabulek odtrhové pevnosti a charakteristiky lomů vyplývá, že napětí v tahu potřebné k roztržení nejslabší fáze se u všech vzorků pohybovalo v rozmezí od 5 Mpa do 8 Mpa. V technické praxi se považuje za vyhovující minimální hodnota odtrhové pevnosti 3 Mpa. U všech vorků (z korozního prostředí A a korozního prostředí B) je tedy přilnavost NS vyhovující a dle charakteristik lomu převažuje kohezní lom nátěru. Vzniklý korozní produkt u vzorků z korozního prostředí B ( tloušťka rovnoměrné koroze cca 10  $\mu\text{m}$ ), stačil NS absorbovat.

Dle matematického modelu (Graf 12) má trend vývoje odtrhové pevnosti NS v závislosti na době působení korozního prostředí A (výrobní hala slévárny) tendenci klesat, ale během sledovaného období 96 hodin spíše nepravidelně kolísá, čemuž odpovídá spolehlivost modelu trendu vývoje odtrhové pevnosti NS v závislosti na čase kolem 55 %.

U trendu vývoje odtrhové pevnosti NS na době působení korozního prostředí B (zvýšená vlhkost prostředí) je spolehlivost matematického modelu (Graf 12) 73 %. Odtrhová pevnost se s dobou působení korozního prostředí B snižuje a to především od 48 hodin působení korozního prostředí. Projevuje se zde již vzniklý korozní produkt o průměrné tloušťce 10  $\mu\text{m}$ .



### 7.2.5 Mřížková zkouška přilnavosti

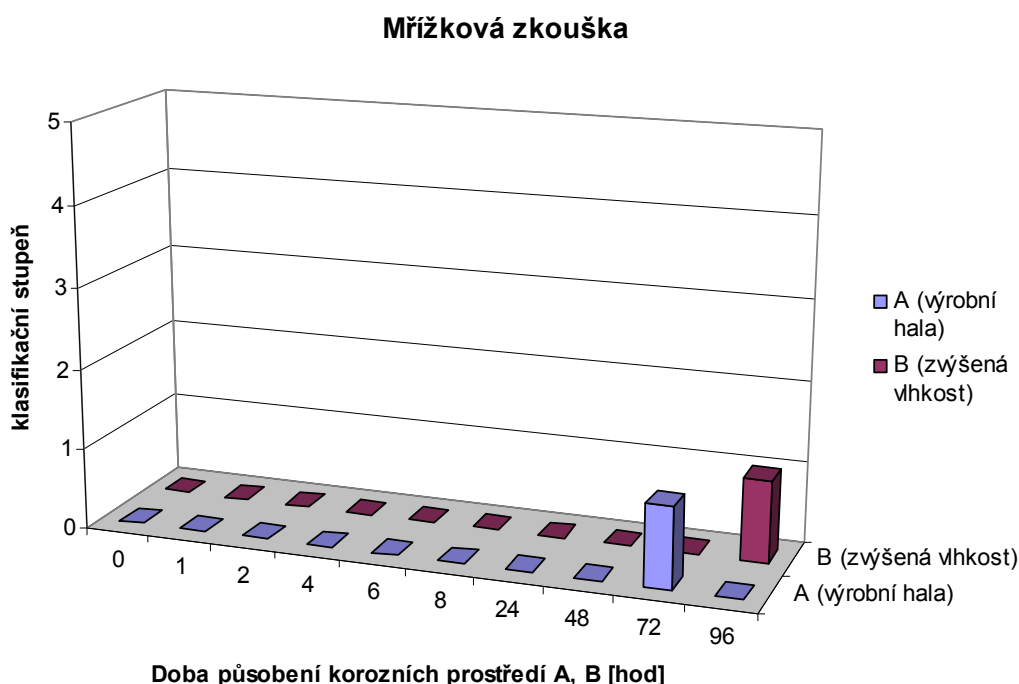
Mřížkovou zkoušku jsem provedl a vyhodnotil vizuálně dle normy ČSN ISO 2409. [28] Na jednom vzorku jsem provedl celkem tři mřížky dle normy ISO 2409. Hodnocení mřížky jednotlivých vzorků s dosaženými stupni klasifikace uvádím v Tabulce 17.

**Tabulka 17 – Hodnocení mřížkové zkoušky**

Korozní prostředí	Vzorek	působení korozního prostředí [hod]	Klasifikace mřížky
<b>A</b>  Výrobní hala slévárny	A0	0	0
	A1	1	0
	A2	2	0
	A4	4	0
	A6	6	0
	A8	8	0
	A24	24	0
	A48	48	0
	A72	72	1
	A96	96	0
<b>B</b>  Prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu	B0	0	0
	B1	1	0
	B2	2	0
	B4	4	0
	B6	6	0
	B8	8	0
	B24	24	0
	B48	48	0
	B72	72	0
	B96	96	1

Z výsledků mřížkové zkoušky vyplývá, že NS, který byl aplikován na otryskané vzorky exponované v prostředí A (výrobní hala slévárny) a v prostředí B (se zvýšenou vlhkostí vzduchu), má výbornou přilnavost k podkladu po celou testovanou délku působení těchto prostředí. Řezy byly zcela hladké, žádný čtverec nebyl poškozen.

Porovnání výsledků mřížkové zkoušky vzorků exponovaných v korozních prostředích A a v korozním prostředí B uvádím v Grafu 13.



**Graf 13** – Porovnání výsledků mřížkové zkoušky vzorků exponovaných v prostředí A (výrobní hala slévárny) a prostředí B (se zvýšenou vlhkostí vzduchu) v závislosti na době působení těchto prostředí

#### 7.2.6 Závěr

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem vlivu působení korozních prostředí na přilnavost vodouředitelného nátěrového systému.

Otryskané vzorky byly umístěné do dvou korozních prostředí (A – výrobní hala slévárny, B – prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu). Po působení těchto prostředí byly změřeny a zaznamenány hodnoty parametrů drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_q$ . Následně byl aplikován základní vodouředitelný NS metodami stejnými, jako při velkosériové povrchové úpravě odlitků v technické praxi – s využitím mechanizovaného procesu. Dále byla zhodnocena přilnavost NS pomocí odtrhové a mřížkové zkoušky přilnavosti.

Z výsledků odtrhové zkoušky vyplynulo, že u všech vzorků z prostředí A i B, převažoval kohezní lom nátěru a odtrhová pevnost se pohybovala mezi 5-8 Mpa, což lze hodnotit jako dobrou přilnavost NS k podkladu. Matematický model závislosti odtrhové pevnosti na době působení korozních prostředí ukázal, že vliv změny drsnosti povrchu v prostředí A na přilnavost NS byl menší jak u korozního prostředí B. Dle mřížkové

zkoušky měl NS velmi dobrou přilnavost taktéž u všech testovaných vzorků. Z výsledků odtrhové i mřížkové zkoušky přilnavosti vyplynulo, že se působení korozních prostředí (A, B) ve sledovaném 96 hodinovém období nepodílelo negativně na přilnavost NS.

### **7.3 Vyhodnocení různého stupně přípravy litinového povrchu na přilnavost nátěrového systému**

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem různého stupně přípravy litinového povrchu a jeho vliv na přilnavost vodouředitelného nátěrového systému. K volbě studie aplikace nátěrového systému na okujený povrch (nepřipravený otryskáním) mě vedla skutečnost, že se takto velmi často postupuje v technické praxi – příklad ve firmě Siemens Elektromotory, s.r.o., Mohelnice. V odborných literaturách není na tuto problematiku jednoznačný názor, zda je nutné v každém případě vzniklé oxidické vrstvy před aplikací ochranného nátěru z povrchu odlitků odstraňovat. Jde pak především o to, aby nedošlo později k narušení celistvosti ochranné oxidické vrstvy a tím pádem i ochranného nátěru. Je důležité, jakým podmínkám – mechanické zatížení (rázy, chvění apod.) je daný výrobek vystaven.

#### **7.3.1 Pracovní postup přípravy vzorků**

Zaměřil jsem se na čtyři varianty přípravy povrchu z šedé litiny ČSN 42 2415 před aplikací nátěrového systému:

##### **1. Povrch otryskaný**

- Povrch otryskaný a dodatečně odmaštěný (viz kapitola 7)
- Povrch otryskaný a dodatečně neodmaštěný

##### **2. Povrch neočištěný od okují, tedy povrch neotryskaný**

- Povrch neotryskaný odmaštěný
- Povrch neotryskaný a neodmaštěný

### **I. Povrch otryskaný a dodatečně odmaštěný**

- a) Odlev šedé litiny ČSN 42 2415 do kokil (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- b) Žihání odlitých vzorků z teplého stavu za teploty 800-900 °C po dobu 3,5 hodiny (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- c) Otryskání vzorků na stupeň Sa 2½ (viz kapitola 7.1.1)
- d) Měření parametrů drsnosti otryskaného povrchu vzorků (viz kapitola 6.3)
- e) Navěšení vzorků na závěsný dopravník, kterým jsou svázány jednotlivé technologické operace povrchové úpravy (viz kapitola 7.2.2)
- f) Změření tloušťky NS po vytvrzení (viz kapitola 7.2.3)

### **II. Povrch otryskaný a dodatečně neodmaštěný**

Pracovní postup stejný jako u povrchu otryskaného odmaštěného, mimo bod „e“, kde se vzorky umístily na závěsný dopravník až za odmašťovací průběžnou linkou před vstupem do máčecí průběžné linky.

### **III. Povrch neotryskaný a odmaštěný**

- a) Odlev šedé litiny ČSN 42 2415 do kokil (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- b) Žihání odlitých vzorků z teplého stavu za teploty 800-900 °C po dobu 3,5 hodiny (nebylo předmětem studie v této diplomové práci)
- c) Měření parametrů drsnosti okujeného povrchu vzorků (viz kapitola 6.3)
- d) Navěšení vzorků na závěsný dopravník, kterým jsou svázány jednotlivé technologické operace povrchové úpravy (viz kapitola 7.2.2)
- e) Změření tloušťky NS po vytvrzení (viz kapitola 7.2.3)

### **IV. Povrch neotryskaný a neodmaštěný**

Pracovní postup stejný jako u povrchu neotryskaného odmaštěného, mimo bod „d“, kde se vzorky umístily na závěsný dopravník až za odmašťovací průběžnou linkou před vstupem do máčecí průběžné linky.

### ▪ Optické pozorování a metalografický rozbor povrchové vrstvy vzorků

Metalografickým rozbořem byl vyhodnocen povrch otryskaného a neotryskaného vzorku v laboratoři firmy Siemens Elektromotory, s.r.o., Mohelnice. Vyhodnocení bylo provedeno na světelném mikroskopu Neophot 32 a zdokumentováno obrazovým procesorem Tescan – TS1104 – ATLAS.

Na Obr. 38 je zalitý neotryskaný vzorek, na Obr. 39 je zalitý otryskaný vzorek.



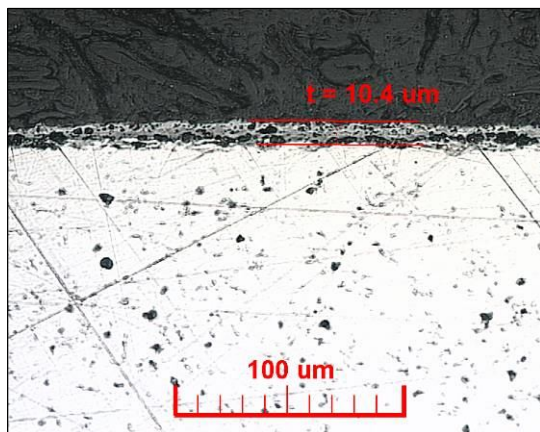
**Obr.38** – Zalitý neotryskaný vzorek



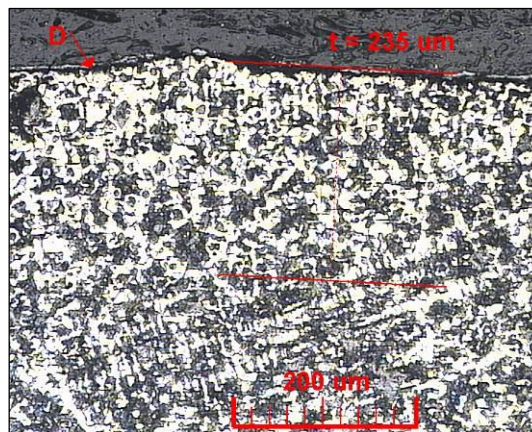
**Obr.39** – Zalitý otryskaný vzorek

#### 1. Neotryskaný vzorek

Na Obr. 40 – vzorek bez leptu, je viditelná oxidová vrstva – okuj, tloušťka okuji je 10  $\mu\text{m}$ . Lící kůra je rozpuštěná žíháním. Na Obr. 41 – leptáno Nital 4 %, je vidět lící kůra o tloušťce 235  $\mu\text{m}$  a okuj ve zvětšení 100  $\times$ . Na Obr. 42, 43 – leptáno Nital 4 %, je v různém zvětšení morfologie okuje lépe viditelná.

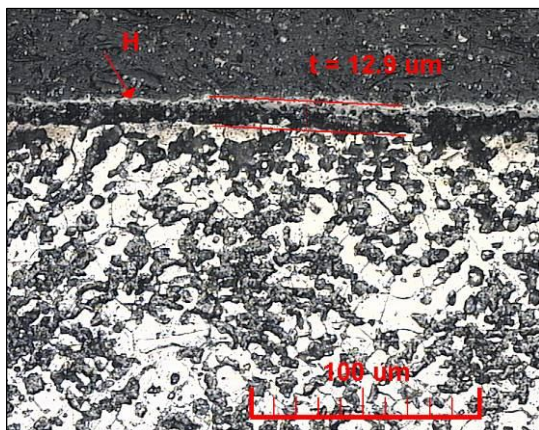


**Obr. 40** – Vzorek bez leptu, zvětšení 250  $\times$ , tloušťka okuje 10  $\mu\text{m}$

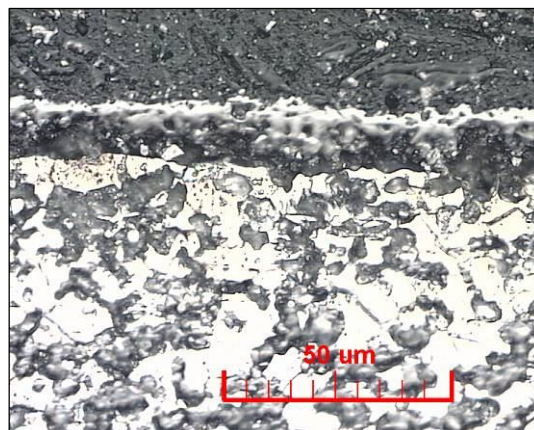


**Obr. 41** – Vzorek leptáno Nital 4%, zvětšení 100  $\times$ , tloušťka lící kůry 235  $\mu\text{m}$ , D – okuje





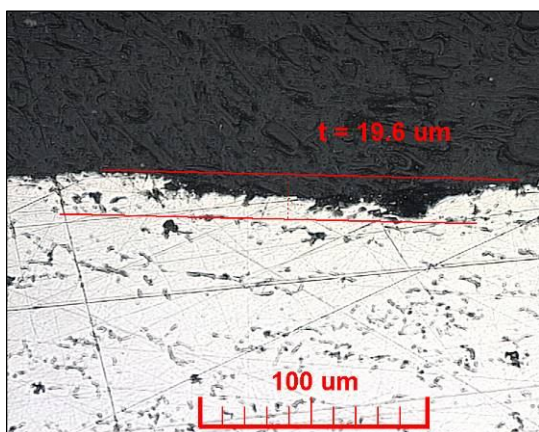
**Obr. 42** – Vzorek leptáno Nital 4%,  
zvětšení 250 ×, tloušťka okují (H)  
13 μm,



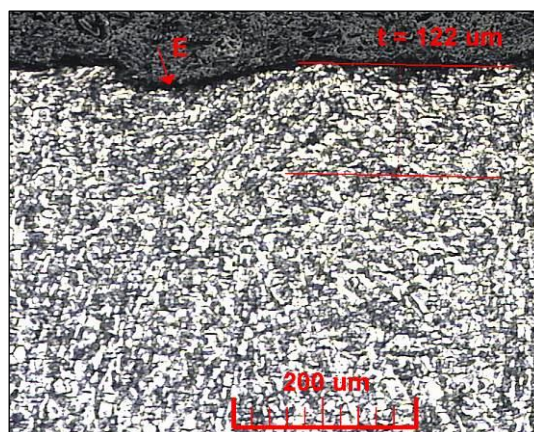
**Obr. 43** – Vzorek leptáno Nital 4%,  
zvětšení 500 ×, morfologie okuje  
lépe viditelná

## 2. Otryskaný vzorek (granulátem S330)

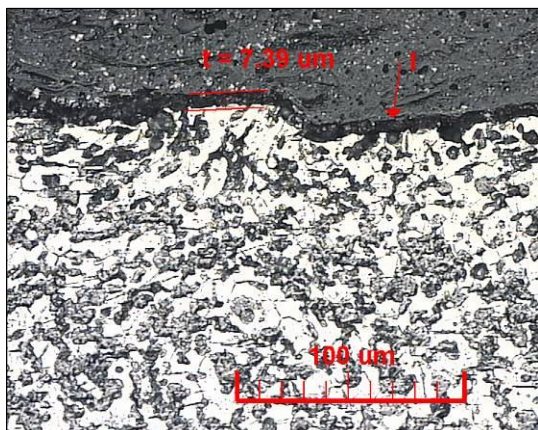
Na Obr. 44 – bez leptu, je vidět povrch bez okují, povrchová vrstva je ovlivněná otryskáním, výška vzniklé prohlubně cca 20 μm. Černá místa v prohlubních je již blesková koroze vzniklá při vyřezávání vzorků s vodním chlazením. Na Obr. 45 – leptáno Nital %, je vidět narušená povrchová vrstva do hloubky 120 μm a blesková koroze (E). Na Obr. 46, 47 – leptáno Nital 4 %, je vidět v různém zvětšení morfologie otryskaného povrchu s bleskovou korozí o tloušťce 7 μm.



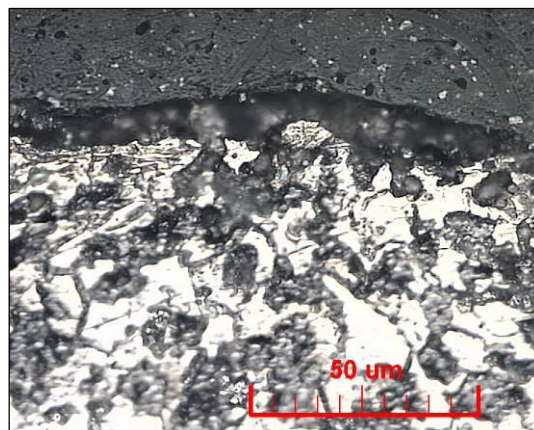
**Obr. 44** – Vzorek bez leptu,  
zvětšení 250 ×, výška prohlubně po  
otryskání 20 μm



**Obr. 45** – Vzorek leptáno Nital 4%,  
zvětšení 100 ×, povrchová vrstva  
narušená otryskáním do hloubky  
122 μm, E – blesková koroze

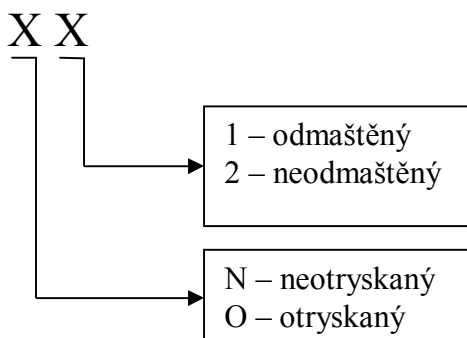


**Obr. 46** – Vzorek leptáno Nital 4%,  
zvětšení 250 ×, I – blesková koroze,  
tloušťka 7,4 μm,



**Obr. 47** – Vzorek leptáno Nital 4%,  
zvětšení 500 ×, morfologie  
bleskové koroze lépe viditelná

#### ▪ Systém značení vzorků



Příklad značení vzorků: O2 – vzorek otryskaný a neodmaštěný

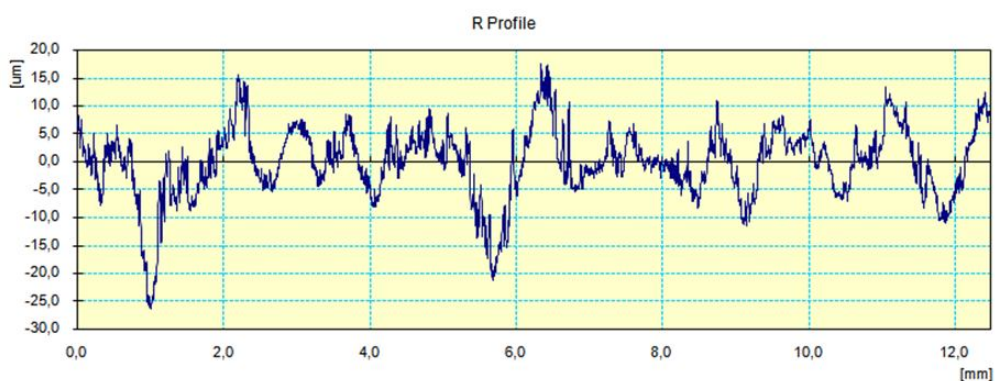
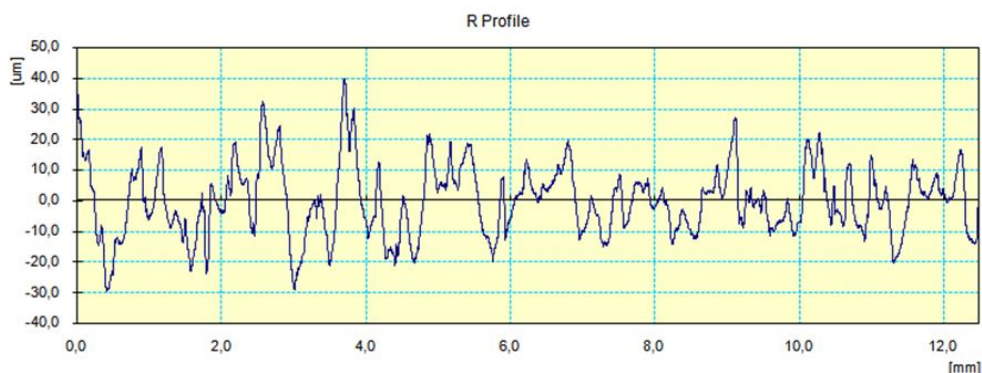
#### 7.3.2 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu je provedeno přenosným drsnoměrem Mitutoyo Surftest SJ-301 dle ČSN EN ISO 4287 [24] (viz kapitola 6.3). Naměřené hodnoty drsnosti povrchu uvádím v Tabulce 18. Byly změřeny parametry drsnosti Ra a Rz. Parametry měření:  $\lambda_c = 2,5$  mm, R profile – profil drsnosti. Grafický záznam profilu drsnosti uvádím na Obr. 38 u neotryskaného vzorku a Obr. 39 u otryskaného vzorku.



**Tabulka 18** – Parametry drsnosti u otryskaného a neotryskaného vzorku

Vzorek	Ra [μm]					Průměr Ra	Rz [μm]					Průměr Rz
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
O2	8,45	9,96	9,62	9,07	11,12	<b>9,64</b>	32,14	38,24	34,22	34,23	39,23	<b>35,61</b>
N2	5,19	4,91	3,48	4,74	2,63	<b>4,19</b>	19,09	18,06	13,50	16,70	11,05	<b>15,68</b>

**Obr. 38** – Parametr drsnosti Ra = 4,74 μm u vzorku N2 (neotryskaného)**Obr. 39** – Parametr drsnosti Ra = 9,07 μm u vzorku O2 (otryskaného)

### 7.3.3 Použitý nátěrový systém a jeho aplikace

Nátěrový systém a způsob aplikace nátěrového systému byl použit stejný jako v kapitole 7.2.2.

### 7.3.4 Měření tloušťky nátěrového systému

Tloušťka NS byla měřena dle ČSN EN ISO 2808 [26] magnetickou metodou. (viz kapitola 6.5) Tloušťka mokré vrstvy se pohybuje mezi 100-125 μm. Tloušťku suché vrstvy nátěrového systému uvádím v Tabulce 19.



**Tabulka 19** – Naměřené hodnoty tloušťky suché vrstvy NS

Vzorek	Počet měření [ $\mu\text{m}$ ]										Průměr [ $\mu\text{m}$ ]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>O1</b>	29,2	29,0	30,7	32,9	30,4	34,8	23,8	24,6	25,5	26,2	28,7
<b>O2</b>	19,3	22,0	17,5	24,6	26,8	21,6	19,0	25,4	22,8	23,4	22,2
<b>N1</b>	16,7	24,7	26,7	19,4	18,9	17,2	24,6	32,3	20,9	18,8	22,0
<b>N2</b>	18,1	15,3	18,8	20,3	33,2	20,6	15,1	14,1	13,8	21,6	19,1

### 7.3.5 Odtrhová zkouška přilnavosti

Odtrhovou zkoušku přilnavosti jsem provedl a vyhodnotil dle ČSN EN ISO 4624 [27] po vytvrzení NS (viz kapitola 6.6). Hodnoty minimálního tahového napětí (MPa) potřebného k roztržení nejslabší fáze a charakteristiky lomů [%] jednotlivých vzorků uvádím v Tabulce 20. Grafické vyhodnocení uvádím v Grafu 14.

**Tabulka 20** – Odtrhová pevnost a charakteristika lomu vzorků

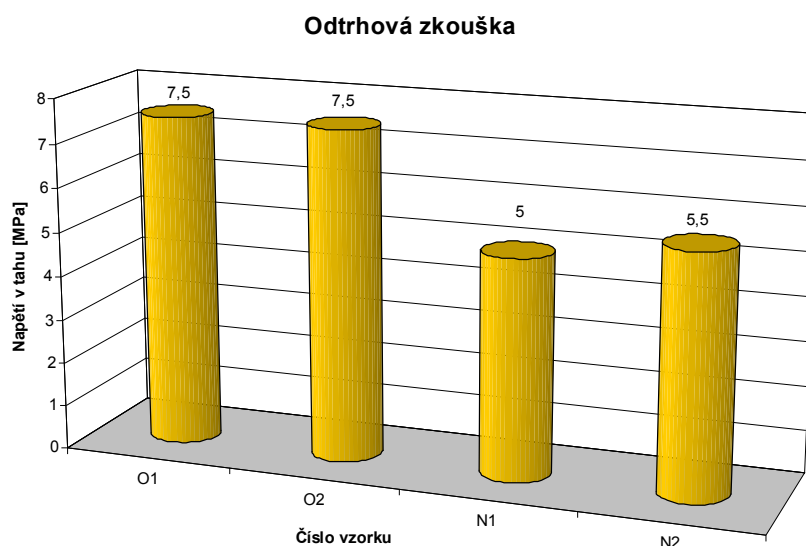
Vzorek	Měření	Napětí v tahu [MPa]	Odtrhová síla [N]	Průměr [MPa]	Charakteristika lomu [%]					
					A	A/B	B	-/Y	Y	Y/Z
<b>O1</b>	1.	7	2356	7,5	5		95			
	2.	8			5	50	45			
<b>O2</b>	1.	8	2356	7,5	10	20	70			
	2.	7			5	10	80			
<b>N1</b>	1.	5	1571	5	45*		55			
	2.	5				5	95			
<b>N2</b>	1.	5	1728	5,5	35*		65			
	2.	6			40*		60			

\* kohezní lom podkladu – okuje

Z tabulky vyplývá, že u vzorků otryskaných je odtrhová pevnost vyšší, než u vzorků neotryskaných. Převažuje kohezní lom nátěru, u vzorků neotryskaných docházelo ke koheznímu lomu podkladu – okuje (Obr. 40). Odtrhová pevnost je u neotryskaných vzorků dobrá, u otryskaných vzorků velmi dobrá. Vliv dodatečného odmaštění se u otryskaných vzorků na přilnavosti NS nijak neprojevil.



**Obr. 40** – Kohezní lom v okuji ze 40 % u vzorku N2



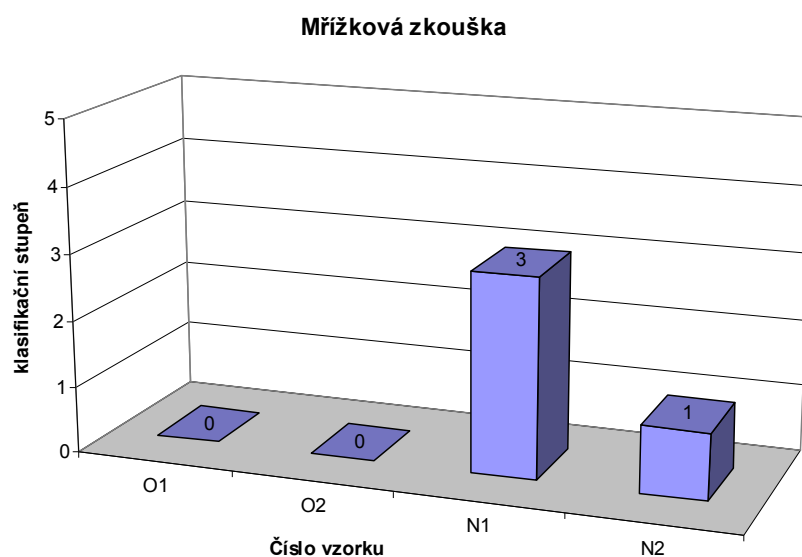
**Graf 14** – Odrhová pevnost jednotlivých vzorků

### 7.3.6 Mřížková zkouška přilnavosti

Mřížkovou zkoušku jsem provedl a vyhodnotil vizuálně dle normy ČSN ISO 2409 [28] (viz kapitola 6.7). Na jednom vzorku jsem provedl celkem tři mřížky dle normy ISO 2409. Hodnocení mřížky jednotlivých vzorků s dosaženými stupni klasifikace uvádím v Tabulce 21 a Grafu 15.

**Tabulka 21** – Hodnocení mřížkové zkoušky

Vzorek	Klasifikace mřížky
O1	0
O2	0
N1	3
N2	1

**Graf 15** – Dosažená klasifikace u jednotlivých vzorků

Z výsledků mřížkové zkoušky vyplývá, že řezy jsou zcela hladké a žádný čtverec není poškozen u otryskaných vzorků. U neotryskaného vzorku odmaštěného byly mřížky poškozeny z více jak 15 % a méně jak z 35 %. Dle podnikové normy Siemens Elektromotory s.r.o, Mohelnice vyhovují klasifikační stupně 0-2.

### 7.3.7 Závěr

V této části diplomové práce jsem se zabýval studiem různého stupně přípravy litinového povrchu a jeho vliv na přilnavost vodouředitelného nátěrového systému. Zkoušeny byly čtyři druhy připraveného povrchu. Povrch otryskaný a povrch neotryskaný, z nichž každý byl odmaštěn nebo neodmaštěn před aplikací NS.

Velmi dobrou přilnavost NS (7-8 Mpa) měly vzorky otryskané. Dodatečné odmaštění se na zvýšení přilnavosti nijak nepodílelo. NS byl schopen nečistoty po otryskávání absorbovat. U vzorků neotryskaných byla přilnavost již horší – u mřížkové zkoušky stupeň 1 a 3. Odtrhovou pevnost 5 Mpa dosahoval NS díky koheznímu lomu v podkladu – okuji. Odmaštěný neotryskaný povrch vykazoval dokonce přilnavost horší, jak povrch neotryskaný neodmaštěný, což potvrdily obě zkoušky přilnavosti. Toto může být dáno jinou povahou povrchu oxidových vrstev v interakci s alkalickými odmašťovacími přípravky.

V této části diplomové práce bylo jednoznačně potvrzeno, že je vhodné před nanesením ochranného nátěru povrch odlitků očistit od okují, tedy připravit otryskáváním.

## 8 CELKOVÝ ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá studiem přípravy povrchu substrátu na vlastnosti nátěrového systému. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o vlastnostech a přípravě povrchu podkladového materiálu před aplikací nátěrového systému (NS). Rovněž je diskutována otázka působení korozního prostředí na základní materiál a přilnavost NS. Studium přípravy povrchu substrátu bylo zaměřeno na povrchové úpravy odlitků z šedé litiny lité do kokil.

V první části experimentálních prací je hodnocena změna drsnosti povrchu vlivem korozního napadení ve dvou korozních prostředích, které mohou působit v závislosti na čase na povrch již otryskaných odlitků při mezioperačním skladování.

V druhé části experimentálních prací je hodnocen vliv korozního napadení na přilnavost základního NS. Po působení korozních prostředí byly změřeny a zaznamenány parametry drsnosti Ra, Rz a Rq. Následně byl aplikován NS s využitím mechanizovaného procesu jako u velkosériové povrchové úpravy odlitků v technické praxi a zhodnocena přilnavost NS odtrhovou a mřížkovou zkouškou. Výsledky změny parametrů drsnosti byly zpracovány graficky metodami statistické analýzy. Vliv změny drsnosti litinového povrchu v prostředí výrobní haly slévárny na přilnavost NS byl menší, jak v prostředí se zvýšenou vlhkostí vzduchu. Celkově však nemělo korozní napadení ve sledovaném čtyřdenním období negativní vliv na přilnavost testovaného NS.

V třetí části experimentálních prací byl hodnocen různý stupeň přípravy povrchu šedé litiny na přilnavost stejného základního NS, jako v předešlé studii. Studie byla zaměřena na povrch neočištěný – okujený a povrch očištěný otryskáváním – odokujený. Tato studie byla zvolena z důvodu, že se v technické praxi někdy nedodržuje důsledné očištění povrchu před nanášením ochranných NS. Před samotnou aplikací NS byla ještě zvolena varianta, kdy byl otryskaný a neotryskaný litinový povrch buď dodatečně očištěn od ulpělých nečistot odmaštěním nebo byl naaplikován NS přímo bez dodatečného odmaštění. Následně byl aplikován NS opět s využitím mechanizovaného procesu a zhodnocena přilnavost NS odtrhovou a mřížkovou zkouškou. Otryskaný povrch vykazoval jednoznačně vyšší přilnavost, než povrch neotryskaný. Dodatečné odmaštění nepřispělo ke zvýšení přilnavosti, naopak u neotryskaného povrchu byla

přilnavost NS ještě snížena. Bylo potvrzeno, že je vhodné před nanesením ochranného nátěrového systému povrch odlitků očistit od okují otryskáváním a připravit tak i vhodnou mikrogeometrii povrchu pro zakotvení povlaku.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1994. 76 s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-235-8
- [2] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část I.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 112 s. Fakulta strojní. ISBN 80-248-0671-1
- [3] FILIPOVÁ, M. *Studium vlivu povrchové úpravy podkladového materiálu na vlastnosti aplikovaných povlaků: doktorská disertace.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2006. 150 s.
- [4] ŠAFÁŘ, K. *Hladkost litého povrchu.* 1. vydání, Praha: SNTL, 1973. 172 s.
- [5] GIRŠOVIČ, N. G. *Šedá litina.* Praha: SNTL, 1955. 347 s.
- [6] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů.* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1995. 156 s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-953-0
- [7] BARTONÍČEK, R. a kol. *Koroze a protikorozní ochrana kovů.* Praha: Academia, 1966. 719 s.
- [8] HRSTKA, J.; MÍŠEK, B. *Koroze a povrchová úprava kovů.* Brno: VUT Brno, 1972. 208 s. Fakulta strojní. ISBN 55-556-73
- [9] KREIBICH, V.; HOCH, K. *Koroze a technologie povrchových úprav.* Praha: ČVUT, 1984. 270 s. Fakulta strojní.
- [10] RONEŠ, J.; TROJÁNEK, F. *Příprava kovového povrchu pod nátěry.* Praha: SNTL, 1959. 244 s.
- [11] SIEMENS ELEKTROMOTORY, s.r.o. Mohelnice. *Technologický předpis pro povrchovou úpravu dílců máčením – TP 412.* 2008. 10 s.
- [12] SIEMENS ELEKTROMOTORY, s.r.o. Mohelnice. *Technologický předpis č. 213 – žíhání odlitků ze šedé litiny, pracoviště před žíhací pecí.* 2000. 9 s.
- [13] SIEMENS ELEKTROMOTORY, s.r.o. Mohelnice. *Technologický předpis č. 164 – tavení litiny ČSN 422415 v tavicích pecích.* 1999. 13 s.
- [14] PODRÁBSKÝ, T. ; POSPÍŠILOVÁ, S. *Struktura a vlastnosti grafitických litin* [online]. Brno: Ústav materiálových věd a inženýrství, FS VUT Brno, 2006. Dostupný z WWW <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php>>
- [15] GUZANOVÁ, A.; BREZINOVÁ, J. *Monitorovanie zmien akosti povrchu kovového substrátu po tryskaní. Povrchová úprava* [online]. Únor 2006, ročník III. Dostupné na WWW <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2006-02.pdf>>

- [16] Mitutoyo, Surftest SJ 301 [online]. Dostupné na WWW <[http://www.floridametrolgy.com/surface-contour/documents/SJ-301\\_000.pdf](http://www.floridametrolgy.com/surface-contour/documents/SJ-301_000.pdf)>
- [17] Elcometer 154 [online]. Dostupné na WWW <<http://www.paintmeter.com/eng/gauge.php?sid=0&l=1&b=3&g=64&e=106>>
- [18] Elcometer 456 [online]. Dostupné na WWW <[http://www.gardco.com/pages/film\\_thickness/dry\\_film/456.html](http://www.gardco.com/pages/film_thickness/dry_film/456.html)>
- [19] Elcometer 1542 [online]. Dostupné na WWW <<http://paintmeter2.com/eng/gauge.php?b=2&g=2&e=253&byemail=true>>
- [20] STEM, Tumble belt shotblast machines type B [online]. Dostupné na WWW <[http://www.stem.si/eng/b\\_galery.aspx](http://www.stem.si/eng/b_galery.aspx)>
- [21] Kovobrasiv, ocelové granuláty [online]. Dostupné na WWW <[http://www.kovobrasiv.cz/cz/3prod\\_og.html](http://www.kovobrasiv.cz/cz/3prod_og.html)>
- [22] ČSN ISO 8501-1 (03 8221). *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuelní hodnocení čistoty*. 1998.
- [23] ČSN EN ISO 12944-2 (03 8241). *Nátěrové hmoty – protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. 1998.
- [24] ČSN EN ISO 4287 (01 4450). *Geometrické požadavky na výrobky – Struktura povrchu, profilová metoda, termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1999.
- [25] ČSN EN ISO 2431 (67 3013). *Stanovení výtokové doby výtakovými pohárky*. 1997.
- [26] ČSN EN ISO 2808 (67 3061). *Nátěrové hmoty – stanovení tloušťky nátěru*. 2000.
- [27] ČSN EN ISO 4624 (67 3077). *Nátěrové hmoty: Odtrhová zkouška přilnavosti*. 2003.
- [28] ČSN ISO 2409 (67 3085). *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*. 1993.



## 10 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1** Grafický záznam z měření parametru drsnosti Ra vzorků z korozních prostředí
- Příloha č. 2** Technický list základní vodouředitelné barvy Weco-FAN
- Příloha č. 3** Bezpečnostní list základní vodouředitelné barvy Weco-FAN
- Příloha č. 4** Technický list průmyslového odmašťovače HDD
- Příloha č. 5** Bezpečnostní list průmyslového odmašťovače HDD
- Příloha č. 6** Svolení autora k publikaci fotografií z metalografických zkoušek
- Příloha č. 7** Svolení autora k publikaci chemického rozboru tavby šedé litiny ČSN 42 2415